Aufgaben aus der Maschinenkunde und Elektrotechnik

Eine Sammlung für Nichtspezialisten nebst ausführlichen Lösungen

von

Fritz Süchting

Ingenieur, o. Professor für Maschinenkunde und Elektrotechnik an der Preuß. Bergakademie Clausthal

Mit 88 Textabbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer
1924

ISBN-13: 978-3-642-90455-4 e-ISBN-13: 978-3-642-92312-8
DOI: 10.1007/978-3-642-92312-8

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1924

Anleitung zur Anstellung technischer Berechnungen und zur Benutzung der Aufgabensammlung.

Wie jede Fertigkeit, sei es eine fremde Sprache, ein Sport oder die Ausübung einer Kunst, niemals allein aus Büchern und Vorträgen oder vom Zusehen erlernt werden kann, sondern erst eigenes Üben, Probieren und Sich-Abmühen unter sachverständiger Leitung das Beste tun muß, wie der Mediziner erst im Präpariersaal und in Kliniken zum Arzt wird, so braucht auch der angehende Ingenieur als Ergänzung des rezeptiv in Vorlesungen und aus Büchern Erworbenen und eigentlich als wichtigsten Bestandteil seiner Ausbildung eine gründliche vielseitige Vorbereitung durch Übungen. Fehlt sie, so muß er das Manko erst in der Praxis nachholen, wo er doch schon nützliche verantwortliche Arbeit leisten sollte; er würde dann, mindestens in den ersten Jahren, ein unbrauchbarer Ingenieur sein, der leicht grobe Fehler machen und dadurch große Verluste an Material und Geld oder gar Unfälle verursachen und so seinen fachlichen Ruf, seine Stellung oder gar seine Existenz riskieren kann.

Unter den an den Ingenieur zu stellenden Anforderungen steht das Können allen andern weit voran. Das bloße Verstehen oder Wissen in technischen Dingen ohne entsprechendes Können charakterisiert den technisch interessierten Laien und Dilettanten, der zufrieden ist, wenn er einen Zusammenhang erfaßt hat. Das Können aber erwirbt man nur durch zähes gewissenhaftes Üben, und es handelt sich nur noch darum, auf welchem Gebiete und in welcher Weise dies Üben vorzunehmen ist.

Des Ingenieurs Aufgabe ist, die Tätigkeit der Handarbeiter zu organisieren, anzugeben, was und wie gearbeitet werden soll. Mag er sich dabei nun der Alltagssprache und seiner Fachausdrücke bedienen oder seiner Spezialsprache, der technischen Zeichnung, immer wird ein Hauptbestandteil seiner Angaben die Zahl sein, die die Antwort auf die Frage der ausführenden Handarbeiter nach dem „wieviel?“ „wie groß?“ „wie lange?“ gibt. Die verantwortliche Angabe von Zahlen, von deren Richtigkeit die

Brauchbarkeit und Sicherheit der ganzen Arbeitm, eistens also große Vermögenswerte, oft das Leben vieler Menschen abhängt, ist daher charakteristisch für die Arbeit des Ingenieurs, und da er diese Zahlen meist erst auf Grund einer längeren Berechnung erhält, so ist das sichere Ansetzen und Durchführen solcher Rechnungen eine seiner wichtigsten und vornehmsten Fähigkeiten.

Dazu ist nun, ganz abgesehen von den auf dem betreffenden technischen Spezial-Gebiet erforderlichen Fachkenntnissen und Erfahrungen, außer konstruktiven Fertigkeiten, und außer vielseitigen Kenntnissen auf den Gebieten der Physik, Mechanik und Mathematik vor allem nötig: die Fähigkeit, sein Wissen zu benutzen, insbesondere die mathematischen Methoden auf die Erscheinungen der Physik und Mechanik anzuwenden und die dabei gewonnenen neuen Vorstellungsgruppen wiederum auf die Technik; die Fähigkeit, mit Zahlen und mit mathematischen Formeln rasch und sicher zu rechnen; die Gewandtheit und Sicherheit im Umgang mit benannten Größen und mit den Einheiten; endlich, beinahe als Hauptsache: die Gewöhnung an peinliche Selbstkontrolle bei diesen Rechnungen durch stetes Wachhalten des Gefühls der Verantwortlichkeit für die Richtigkeit der abzugebenden Zahlen.

Überraschend ist es nun oft, zu sehen, wie schwer es dem Anfänger fällt, das Gelernte und Erfaßte auch schon auf demselben Gebiete anzuwenden, von der bloß rezeptiven Tätigkeit den Schritt auch nur zur allerbescheidensten produktiven zu tun; die Schwierigkeit verzehnfacht sich, wenn es gilt, ein Wissens- und Fertigkeitsgebiet auf ein anderes anzuwenden, etwa die Mathematik auf die Physik, oder gar, wenn es sich für den angehenden Ingenieur darum handelt, seine physikalischen Kenntnisse auf die Vorgänge der technischen Praxis anzuwenden und die Brücke zu schlagen von den Vorstellungskreisen, die ihm aus den Lehrgebieten der Physik und Mathematik geläufig geworden sind, zu konkreten technischen Dingen, wie etwa Dampfkesseln, Dampfmaschinen, Dynamos, Fernleitungen, Pumpen, Brücken oder sonstigen Maschinen und Bauwerken.

Ähnlich steht es bezüglich der Kunst des gewandten und sicheren Rechnens mit Zahlen und Formeln. Die Mittelschulen üben vielfach in den oberen Klassen das Rechnen mit Zahlen nur wenig, und da die Hochschule vorhandene Lücken in dieser Hinsicht nicht mehr zwangsweise ausfüllt, so sind ihre Absolventen oft in diesem Punkte nicht hinreichend gerüstet, meistens schlechter als die Absolventen des Technikums. Es ist nötig, daß auch das Zahlenrechnen, im Kopf und auf dem Papier,

mit Logarithmen, Tabellen und Rechenschieber, womöglich auch mit der Rechenmaschine, vom jungen Ingenieur während seines ganzen Studiums fleißig geübt wird. Dabei muß er auch eine Fertigkeit gewinnen, die für ihn eine weit größere Bedeutung hat als für den Mathematiker, Physiker oder Kaufmann, nämlich das sachgemäße und dem jeweiligen Falle entsprechende Abrunden der Ziffern. Er soll die Zeitverschwendung durch unnötig genaues Rechnen ebenso vermeiden wie ein saloppes Abrunden an unrechter Stelle. Ferner darf und soll er häufig Glieder einer Formel im Interesse der Vereinfachung der Rechnung fortlassen, Näherungsmethoden anwenden, Gleichungen durch Probieren lösen, graphische Methoden an Stelle der rechnerischen benutzen und ähnliche Mittel verwenden, die rascher oder übersichtlicher arbeiten und eine für den jeweils vorliegenden Fall ausreichende, wenn auch nicht absolute Genauigkeit ergeben.

Eine andere Schwierigkeit, die oft verhängnisvolle Fehler herbeiführt, liegt in der Wahl der richtigen Einheiten. Ist die physikalisch-mathematische Formel richtig eingesetzt, so scheitert oft alles daran, daß nun Zweifel entstehen, ob etwa die Länge in Metern oder Zentimetern, der Druck in Millimeter Wassersäule oder in Atmosphären, die Arbeit in Meterkilogramm oder Kilokalorien eingesetzt werden muß. Diese Schwierigkeit ist keineswegs gering; denn der Ingenieur kommt nicht mit einem Maßsystem aus, kann nicht etwa stets alle Längen in m, alle Leistungen in kW usw. messen, sondern muß aus Zweckmäßigkeitsgründen damit häufig wechseln, auch oft sich ausländischen Maßsystemen anpassen. Dazu kommt, daß manche Handbücher in dieser Beziehung leider oft nachlässig sind und bei den in Buchstaben angegebenen Formeln nicht immer so eindeutig und leicht erkennbar beifügen, in welchen Einheiten die einzelnen Größen in die Formel eingesetzt werden müssen, wie es wünschenswert wäre und wie es z. B. die „Hütte“ in mustergültiger Weise tut.

Der Ingenieur sollte sich daher zur Pflicht machen, keine „benannte“ Zahl auszusprechen oder gar niederzuschreiben, ohne die exakte Benennung hinzuzufügen. Diese Gewohnheit würde ihn vor vielen Fehlern schützen; für den Anfänger ist sie geradezu unerläßlich zur Erzielung voller Klarheit bei seinen Entwicklungen; außerdem bietet sie ihm ein ausgezeichnetes Mittel, die Richtigkeit seiner Ableitungen dadurch zu kontrollieren, daß er die Gleichungen auf ihre Homogenität nachprüft. Es gibt Ingenieure, die in dieser Beziehung so salopp sind, daß sie nicht nur die Benennung oft fortlassen, sondern auch etwa kW statt kWSt oder kg statt

kg/cm² sagen oder schreiben, was schlimmer klingt als ein „mir" statt „mich".

Ich habe deswegen Wert darauf gelegt, in den Übungsaufgaben und Lösungen hinter allen Zahlen die Benennung anzugeben. Dabei habe ich vielleicht zuweilen des Guten zu viel getan, und habe, um dem Anfänger diese Regel ja recht nachdrücklich einzuprägen, öfters einen unschönen Pleonasmus angewendet, wie etwa: „die stündliche Fördermenge der Pumpe beträgt 12 cbm/St."

In bezug auf die meisten der vorhin genannten und als notwendig erkannten Fähigkeiten ist es bei den Absolventen unserer Fachschulen und Hochschulen oft nur recht mangelhaft bestellt. Tüchtige Mathematiker versagen da oft bei ganz leichten Problemen, und obwohl sie schwierige Integrale anstandslos zu lösen vermögen, geben sie falsche Zahlenwerte als Resultat zweier Gleichungen ersten Grades mit 2 Unbekannten, machen einen Dezimalfehler über den anderen, setzen eine Zahl in den Nenner statt in den Zähler, verwechseln kg mit kg/cm², werfen Meter, Zentimeter und Millimeter durcheinander, bilden Gleichungen, die nicht homogen sind, machen gemeine Rechenfehler beim Addieren und Subtrahieren, vergessen eine 2 oder eine 1000 als Faktor, und verfangen sich in hundert ähnlichen Fallstricken, die in jeder praktischen Aufgabe lauern.

So primitiv solche Fehler oft sind, so schwer ist es erfahrungsgemäß, sie alle mit Sicherheit zu vermeiden. Am schlimmsten ist es, diese Schwierigkeiten als elementar zu verachten und solche Fehler, etwa mit dem Ausdruck „das ist ja nur ein Dezimalfehler" leichthin zu entschuldigen. Eine Maschine, eine Brücke oder irgendeine technische Einrichtung zehnmal zu stark oder zehnmal zu schwach auszuführen, ist einer der denkbar schwersten Fehler, die ein Ingenieur machen kann, und bricht ihm wahrscheinlich, und mit Recht, den Hals. Wer solche Fehler als Ingenieur-Eleve leicht nimmt, ist daher für die Laufbahn ungeeignet, weil ihm das Gefühl für die Verantwortlichkeit völlig abgeht. Sich zum Verantwortungsgefühl zu erziehen, ist aber eine der wichtigsten Aufgaben der Vorbereitungszeit.

Ganz fest muß daher dem werdenden Ingenieur jederzeit eingeprägt werden, daß es die erste Anforderung an seine Ansätze und Berechnungen ist, daß die Ergebnisse zahlenmäßig richtig werden. Dem gegenüber ist es von sehr untergeordneter Bedeutung, ob die angewendete Methode elegant oder umständlich war, ob er elementare oder höhere Mathematik benutzte, ob er die Gleichungen durch Probieren oder graphisch oder analytisch löste, ob er

mit Rechenmaschine, Rechenschieber, Tabellen, Logarithmen, auf dem Papier oder im Kopf rechnete.

Gewinnen lassen sich alle diese als nötig erkannten Fertigkeiten nur durch eifriges und zähes Üben an zweckmäßig ausgewählten Aufgaben und durch wirkliches Durchrechnen mit Ziffern bis zum gesuchten Endwert. Wenn dabei kein Lehrer zur Verfügung steht, der jeden Irrtum sofort rügt, so sind Sammlungen von Übungsaufgaben mit Lösungen erforderlich, die dem Lernenden die Selbstkontrolle seiner Versuche ermöglichen.

Wählt man für diese Aufgaben aus den verschiedenartigsten Gebieten der Technik einfache, aber charakteristische Fälle von der Art aus, wie sie die technische Praxis dem Ingenieur wirklich vorzusetzen pflegt, so kann man an denselben Aufgaben gleichzeitig alle vorhin besprochenen Fertigkeiten ausbilden, und es kann an Stelle eines langweiligen Rechenbuches zum trocknen Üben mit Zahlen oder an Stelle eines abstrakten Physikbuches ein buntes Bilderbuch entstehen, das als Ergänzung zu den systematischen Lehrbüchern gerade wegen seiner Buntheit einen eigenen Reiz haben mag.

Die den Aufgaben zugrunde gelegten Zahlenwerte habe ich möglichst so gewählt, daß sie etwa den wirklichen oder üblichen Verhältnissen entsprechen; oft stammen sie aus Messungen, die an wirklich ausgeführten Anlagen gemacht sind. Dadurch wird ein für den Ingenieur nützlicher und nötiger weiterer Gewinn erzielt, nämlich die Grundlage zu einem Schatz von Zahlen oder doch von Größenordnungen, der im Gedächtnis haftet, und zwar nicht tote Ziffern, sondern lebendige Begriffe und Vorstellungen, eng verflochten mit anderen Zahlen und Begriffen zu einem reichen Netzwerk. Daraus kann sich dann allmählich ein Schätzungsvermögen, ein „Fingerspitzengefühl" entwickeln, das bei erfahrenen Ingenieuren oft bis zu einem erstaunlichen Grade ausgebildet ist, so daß sie zuweilen instinktiv und augenblicklich den zweckmäßigsten oder richtigen Zahlenwert für die Lösung eines Problems zu greifen vermögen, den ein anderer erst durch mühsames und langwieriges Rechnen suchen muß.

Endlich bieten die Übungsaufgaben reiche Gelegenheit, die für den Ingenieur so nötige Fähigkeit zu üben, bei seinen Berechnungen und Erwägungen nicht nur das Physikalische und Technische, sondern auch das Wirtschaftliche, die Kostenfrage im Auge zu behalten, die oft für seine Entschließungen den Ausschlag gibt. Für die zugrunde gelegten Zahlen von Geldbeträgen, die sich stets auf Goldmark und im allgemeinen auf Vorkriegspreise beziehen, gilt das vorhin Gesagte, daß sie möglichst den wirklichen Verhältnissen angepaßt sind.

Bezüglich des Stoffes beziehen sich die Aufgaben auf viele verschiedene Gebiete des Maschinenwesens und der Elektrotechnik, die ja nur durch eine konventionelle und in der Praxis sehr oft durchbrochene Scheidewand voneinander getrennt sind. Die Aufgaben aus diesen beiden Hauptgebieten sind absichtlich bunt durcheinander gemischt und auch in bezug auf die Unterabteilungen herrscht eine nicht durch den Stoff begründete Reihenfolge. Da eine solche Abwechslung vor Ermüdung schützt, anregend wirkt und die geistige Elastizität des Lernenden stärkt, auch der Praxis entspricht, die ja ebenfalls ohne ein System dem Ingenieur nacheinander Aufgaben aus den verschiedensten Gebieten vorwirft, auch oft solche, die gleichzeitig mehrere Gebiete betreffen, so glaube ich im allgemeinen die Einhaltung der gewählten Reihenfolge empfehlen zu können, um so mehr als ich die einfachsten Aufgaben vorangestellt und die umfangreicheren oder komplizierteren mehr an das Ende gerückt habe.

Alle Aufgaben sind unabhängig voneinander durchgeführt, so daß sie in beliebiger Reihenfolge in Angriff genommen werden können. Infolgedessen ließ sich im Text der Lösungen die Wiederholung ähnlicher Gedankengänge nicht immer vermeiden; doch ist in solchen Fällen meistens eine andere Behandlungsart oder sonstige Abweichung gewählt worden, damit auch hierbei neue Anregungen geboten werden.

Für diejenigen Fälle, wo der die Sammlung benutzende Lehrer oder Schüler eine andere Reihenfolge entsprechend dem Stoffgebiete oder dem Grade der Schwierigkeit zu wählen wünscht, habe ich im Inhaltsverzeichnis bei jeder Übung durch ein „m" oder „e" oder „me" angedeutet, ob die Aufgabe rein mechanischen oder rein elektrischen oder Grenz- und Mischgebieten entstammt. Außerdem habe ich durch eine Ziffer 1 oder 2 oder 3 den Grad des Umfanges oder der Kompliziertheit wenigstens roh anzudeuten versucht.

An sich ist keine der Aufgaben wirklich schwer, sobald der Übende einmal den Weg gefunden hat, auf dem er dem betreffenden Problem beikommen kann. Es wird ihm damit gehen wie mit den sogenannten „eingekleideten Gleichungen", deren Schwierigkeit ebenfalls meist bewältigt war, sobald die Übersetzung in die mathematische Formelsprache gelang. Schwierige Aufgaben, die dem Spezialisten und dem fortgeschrittenen Ingenieur überlassen bleiben müssen, habe ich bewußt übergangen. Wer seine Hauptaufgabe auf ein bestimmtes Gebiet verlegt hat, beispielsweise auf die Konstruktion von Dampfturbinen, wird sich darin häufig mit Berechnungen zu beschäf-

tigen haben, die weit über das Niveau der hier vorliegenden Sammlung hinausgehen. Und so wird vielleicht jeder Spezialist diese Aufgaben, wenn er nur die sein engeres Gebiet betreffenden ansieht, für übermäßig leicht halten. Schwierig sind sie trotzdem in ihrer Gesamtheit, wegen der Mannigfaltigkeit der in ihnen behandelten Probleme. Ich möchte daher glauben, daß derjenige, der die einfachen Aufgaben dieses Buches sämtlich gewandt und richtig anzugreifen und zu lösen gelernt hat, schon ein gut Teil der Anforderungen erfüllt, die man an einen jungen Ingenieur stellen darf.

Bestimmt sind die Aufgaben in erster Linie für Nicht-Spezialisten auf dem Gebiete der Maschinenkunde und Elektrotechnik, die aber doch auf diesen Gebieten arbeiten müssen. Das ist schon ein großer Kreis von Ingenieuren, zu dem etwa die Architekten, die Bau-Ingenieure für Wasser-, Hoch- und Tiefbau gehören, ferner die Schiffbauingenieure, die Berg- und Hütten-Ingenieure, die Chemiker usw. Aber auch jedem Maschinen- und Elektro-Ingenieur werden die Aufgaben nützlich sein können, soweit sie nicht in sein engeres Spezialgebiet fallen. Die Aufgaben behandeln vorwiegend solche Fälle, in denen Maschinen, Apparate, Maschinenteile nicht etwa gebaut werden sollen, was Sache des Spezialisten wäre, sondern wo sie ausgewählt, gekauft, nachgeprüft, untersucht, zu Fabriken, Elektrizitätswerken, elektrischen Fernleitungen, Dampf-, Luft- und Wasserleitungen oder sonstigen Anlagen zusammengestellt, oder wo sie oder solche Anlagen betrieben, bewirtschaftet werden sollen. Infolgedessen kommen in der Sammlung zahlreiche Probleme vor, die nicht nur den Ingenieur, sondern auch den industriellen Kaufmann und Wirtschaftler, den Verwaltungsbeamten und alle Mitglieder der technischen Ausschüsse von Städten, Kreisen, Parlamenten, ja jeden Laien angehen, der im Wirtschaftsleben steht, so daß auch alle diese von der Bearbeitung der Übungen Nutzen haben würden.

Über die Berechnungen von Maschinenelementen sind aus diesem Gesichtspunkte nur wenige Aufgaben aufgenommen worden. Einige Beispiele dieser Art schienen mir aber doch angebracht, weil auch der Nicht-Konstrukteur oft in die Lage kommt, die Festigkeit der von ihm gelieferten Maschinenteile rechnerisch nachprüfen zu müssen.

Entsprechend der Einfachheit der Probleme ist die Kenntnis der höheren Mathematik für die Lösung der weitaus meisten Aufgaben nicht erforderlich, so daß sie auch für technische Mittelschulen durchaus geeignet sind. Auch habe ich keineswegs immer bei den Lösungen die „eleganteste“ Methode bevorzugt, sondern

meistens eine besonders einfache, durchsichtige, wenn auch vielleicht etwas umständlichere. Denn der Ingenieur, der nicht Spezialist ist oder sich nicht gerade auf seinem Spezialgebiet befindet, muß suchen, mit möglichst einfachem, aber vielseitig anwendbarem Handwerkszeug durchzukommen. Meistens würde es für ihn, der sich nur gelegentlich mit der betreffenden Frage zu beschäftigen hat, sich gar nicht lohnen, die beste und kürzeste Methode zu lernen, die für den Spezialisten unentbehrlich sein mag.

Die ziffernmäßige Lösung solcher Aufgaben, wie die Praxis sie vorsetzt, ist dem Ingenieur, abgesehen von seinem engsten Spezialfach, und besonders dem Anfänger nur möglich unter Benutzung von Handbüchern, in denen er sich über die betreffenden Gebiete informieren kann und die einschlägigen Formeln und Erfahrungszahlen findet. Die Vertrautheit mit einem solchen Handbuch, die Fertigkeit, es rasch und sicher auf bestimmte ganz verschiedenartige Einzelfälle anzuwenden, ist daher ein wichtiges Ziel der Ingenieur-Erziehung. Da die vorliegende Sammlung kein Lehrbuch sein soll und nicht jeden zu einer Lösung erforderlichen Gedankengang oder Formelansatz ab ovo entwickeln kann, so schien es mir zweckmäßig, sie auf bestimmte Handbücher zu stützen, in der Weise, daß sowohl in den Aufgaben als in den Lösungen auf zahlreiche Stellen derselben hingewiesen wird. Doch sind die Lösungen so ausführlich gehalten, daß viele von ihnen auch ohne Handbuch und alle auch dann leicht verständlich sind, wenn statt der angegebenen Handbücher ein anderes benutzt wird. Zitiert habe ich hauptsächlich nach den folgenden in den Fußnoten auf Seite 1 genauer bezeichneten Handbüchern, und zwar sehr reichlich, indem ich annehme, daß der Benutzer eins dieser Bücher, nicht etwa alle, zur Hand hat: „Bernoulli", „Hütte", „Dubbel", Freytag", „Kosack". Das Handbuch Bernoulli-Baumann schien mir wegen seines verhältnismäßig geringen Umfanges, seiner Vielseitigkeit und seines nicht gar zu kondensierten Textes gerade für Anfänger und Nicht-Spezialisten besonders geeignet zu sein; das Buch von Kosack wurde gewählt als ein übersichtliches und nicht allzusehr in die Einzelheiten gehendes Lehrbuch der Elektrotechnik. Ferner wurde zuweilen als „Strecker" zitiert das „Hilfsbuch für die Elektrotechnik" (vgl. die Fußnote auf Seite 10) und endlich die „Vorschriften und Normen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker", herausgegeben vom V. D. E., 11. Auflage, Berlin: Julius Springer 1923.

Die häufigere Anziehung von „Strecker" oder anderen ausgezeichneten Handbüchern für Elektrotechnik, wie etwa des all-

jährlich neu erscheinenden „Deutschen Kalenders für Elektrotechniker", herausgegeben von Prof. Dr. Ing. h. c. G. Dettmar, oder der „Starkstromtechnik" von Rziha und Seidener, schien mir nicht zweckmäßig, weil sich diese Bücher meistens nur in der Hand von Spezialisten finden.

Die Behandlung der Lösungen ist eine so ausführliche, daß sie das gesprochene Wort ersetzen können. Außer bei einigen empirischen Formeln sind selten die in den Handbüchern angegebenen Formeln ohne weiteres angewendet; meistens sind sie, um ihre gedankenlose Anwendung zu vermeiden, soweit abgeleitet, daß ihre Richtigkeit ersichtlich wird.

Auch die rechnerische Behandlung der Gleichungen und der Zahlenwerte ist sehr ausführlich gehandhabt. Grundsatz war dabei, keine Zwischenrechnungen zu überspringen und alle Entwicklungen so vollständig wiederzugeben, daß der Übende, wenn er dem Gange der Rechnung folgt, keinerlei Nebenrechnungen auf besonderem Blatt vorzunehmen braucht, außer allenfalls einmal eine Addition oder Subtraktion. Im übrigen ist davon ausgegangen, daß er den Rechenschieber, sowie die in allen Handbüchern enthaltenen Tabellen für n^2, n^3, $\sqrt{n}$, $\sqrt[3]{n}$, πn, $n^2\pi/4$, und die vierstelligen Tafeln der Logarithmen und Winkelfunktionen benutzt. Die berechneten Zahlenwerte sind im allgemeinen mit Rechenschieber-Genauigkeit angegeben. Meistens ist die Genauigkeit so weit getrieben, daß die letzte angegebene Ziffer noch zutrifft, damit der Übende, wenn er die Zahlen nachrechnet, kontrollieren kann, ob er seinen Rechenschieber mit der nötigen Sorgfalt gehandhabt hat.

Als geeignetster Weg der Benutzung der Sammlung ohne die persönliche Führung durch einen Lehrer dürfte sich etwa folgendes Verfahren empfehlen: der Lernende versuche zunächst, die Aufgabe ganz selbständig zu lösen, und vergleiche, wenn ihm dies gelingt, sein Resultat mit den in der Lösung angegebenen Zahlen. Gelingt ihm die Lösung nicht ohne weitere Hilfe, so suche er in dem von ihm benutzten Handbuch die in der Aufgabe zitierten Seiten auf und studiere diese gründlich; meistens werden ihn diese Hinweise auf einen zur Lösung führenden Weg leiten. Erst wenn auch das nicht gelingt, lese er die Lösung so weit durch, um den Gang der Behandlung zu erkennen, und versuche nun von neuem selbständig das Ergebnis zu finden. Immer bedenke er, daß das bloße Nachlesen und Nachrechnen einer gegebenen Lösung wenig Wert hat und daß nur wirkliches Kopfzerbrechen für ihn von Nutzen sein kann. Ist auf diese Weise mit mehr oder weniger Beihilfe durch das Buch ein Zahlenresultat gefun-

den, das mit dem im Buch gegebenen hinreichend übereinstimmt, so lese er zum Schluß auch die im Buche gegebene Lösung sorgfältig durch. In den meisten Fällen wird sie von dem von ihm selbst gegangenen Wege doch noch so weit abweichen oder solche Hinweise enthalten, daß er daraus weitere Anregung und Belehrung schöpfen kann.

Beim Vergleich der selbst gewonnenen Resultate mit den im Buch gegebenen ist übrigens wohl zu beachten, daß bei sehr vielen Aufgaben der Technik die Erfahrungszahlen, mit denen man zu rechnen hat, keine mathematisch festliegenden Ziffern sind, sondern manchmal in ziemlich weiten Grenzen frei gewählt werden dürfen, und daß infolgedessen oft die Ergebnisse erheblich voneinander abweichen können, ohne daß eines derselben falsch zu sein braucht; vielleicht sind nur bei dem einen Rechnungsweg vorsichtigere Werte eingesetzt, was dann meistens zugleich eine teurere Konstruktion oder Anordnung ergibt.

Alle in den Lösungen angegebenen Formeln und Ziffern sind sorgfältig wiederholt kontrolliert worden, so daß ich hoffe, Irrtümer vermieden zu haben. Für Mitteilung von Fehlern aller Art, die etwa dennoch durchgeschlüpft sein sollten, sowie für Verbesserungs- und Ergänzungsvorschläge bin ich jederzeit dankbar.

Clausthal, im Juli 1924.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil.

Aufgaben.

1. Leistung einer Kesselspeisepumpe.

Für einen Wasserrohrkessel von 250 m², der ohne Rücksicht auf den dadurch bedingten Mehrverbrauch an Kohle hoch beansprucht werden soll, sind 2 Speisevorrichtungen vorhanden, von denen eine eine einfach wirkende, von einer Transmission aus angetriebene Dreiplungerpumpe mit 70 Umdrehungen pro Min., 20 cm Hub und 10 cm Zylinderdurchmesser ist. Es ist nachzuprüfen, ob diese Pumpe den gesetzlichen Vorschriften entspricht, wobei ihr Lieferungsgrad zu 0,9 anzunehmen ist.

(Vgl. Bernoulli[1]) S. 320, 321, 406, 399. — Hütte[2]) 1923, II., S. 677, 78, 18. — Dubbel[3]) II., S. 192, 196, 107, 98, 4. — Freytag[4]) S. 945, 672, 634.)

2. Messung einer Gleichstromspannung.

Die an einer Glühlampe herrschende Gleichstromspannung soll genau gemessen werden. Bekannt ist, daß sie ungefähr 220 Volt beträgt.

Zur Verfügung steht ein Präzisions-Voltmeter, dessen mit einem Spiegel hinterlegte Skala in 150 Skalenteile (⁰) geteilt und von 0 bis 150 beziffert ist. Das Instrument hat drei Klemmen, eine rechts (x), zwei links (y und z). Neben den Klemmen stehen kurze Bezeichnungen gemäß der beigefügten Skizze, Abb. 1.

---

[1]) Baumann, R.: Handbuch des Maschinentechnikers (Bernoullis Vademecum des Mechanikers). 27. Aufl. Leipzig: Alfred Kröner 1923.

[2]) „Hütte". Des Ingenieurs Taschenbuch. Herausgeg. v. Akad. Ver. Hütte, e. V., in Berlin. 24. Aufl. 3. Bd. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn 1923.

[3]) Dubbel, H.: Taschenbuch f. d. Maschinenbau. 4. Aufl. 2. Bd. Berlin: Julius Springer 1924.

[4]) Freytag, Fr.: Hilfsbuch f. d. Maschinenbau. 6. Aufl. Berlin: Julius Springer 1920.

Ferner steht ein Vorschaltwiderstand zur Verfügung, auf dessen Gehäuse das hier in Abb. 2 beigefügte Schema seiner inneren Schaltung abgebildet ist und der 4 Klemmen trägt, die mit *a*, *b*, *c*, *d* bezeichnet sind.

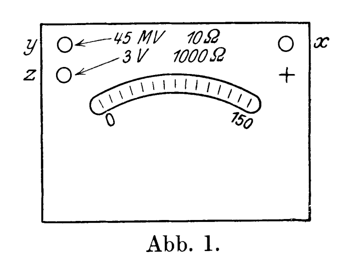


Abb. 1.

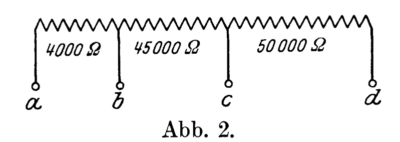


Abb. 2.

1. Es ist ein Schaltungsschema für die Messung zu zeichnen unter Kennzeichnung der zu benutzenden Klemmen.

2. Bei Benutzung der zweckmäßigsten Schaltungsweise ergab das Instrument einen Ausschlag von 108,4°. Wie groß war die Spannung?

3. Welche Verbindungsweise wäre zweckmäßig zu wählen, wenn die Spannung nur etwa 18 Volt betrüge?

(Vgl. Kosack[1]) S. 54. — Dubbel II., S. 772. — Freytag S. 1071.)

3. Berechnung des zulässigen Druckes in einem Preßluftbehälter.

Bei einem schmiedeeisernen nahtlos geschweißten zylindrischen Preßluftbehälter mit einem lichten Durchmesser von 2,2 m habe der Mantel eine Wandstärke von 16 mm. Wie hoch darf der am Manometer abgelesene Druck steigen, wenn 7-fache Sicherheit verlangt, 1 mm der Wandstärke für Rosten abgezogen und eine Reißfestigkeit des Eisens von 4000 kg/qcm angenommen wird?

(Vgl. Bernoulli S. 137, 268, 166, 339, 340. — Hütte 1923, I., S. 582, 579, 722, 723. — Dubbel I., S. 427, 423, 527, 528; II., S. 106; I., S. 360. — Freytag S. 93, 85, 117, 752.)

4. Verluste in einer Gleichstromleitung.

Eine Fabrik sei mit dem Elektrizitätswerk durch eine Gleichstromleitung gemäß dem Schaltbild der Abb. 3 verbunden.

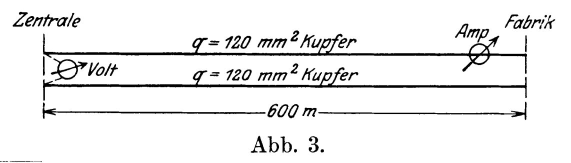


Abb. 3.

[1]) Kosack, E.: Elektrische Starkstromanlagen. 6. Aufl. Berlin: Julius Springer 1923.

An den beiden Meßinstrumenten seien die folgenden Werte abgelesen:

am Spannungsmesser: 512 Volt;
am Strommesser: 321 Amp.

1. Wieviel Spannungsverlust entsteht in der Leitung, in Volt und in $^0/_0$?
2. Wie hoch ist die Spannung in der Fabrik?
3. Wieviel $^0/_0$ der aus der Zentrale in die Leitung fließenden Arbeit gehen in der Leitung verloren?
4. Wieviel Watt?
5. Wie groß ist der Wirkungsgrad der Leitung?
6. Wieviel kW bekommt die Fabrik?

(Vgl. Bernoulli S. 520, 523. — Hütte 1923, II., S. 971, 1155, 972. — Dubbel II., S. 753, 843. — Freytag S. 1066. — Kosack S. 5, 273, 6.)

5. Berechnung eines Balkens auf Biegung.

Ein Holzbalken von rechteckigem Profil und von 6 m Länge liege horizontal, ruhe mit beiden Enden auf, und sei durch zwei vertikale Lasten auf Biegung beansprucht (siehe Abb. 4 u. 5).

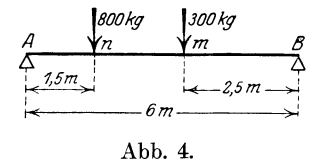


Abb. 4.

Abb. 5.

Das Maß h sei 200 mm.
Gesucht: 1. die Auflagedrucke; 2. die Balkenbreite b.

Hilfsmittel:

	Biegungs-Formeln	Zulässige Spannungen	Trägheits- u. Widerstands-Momente
Bernoulli	143	179	145
Hütte 1923, Bd. I	631	609	645
Dubbel, Bd. I	456	437	479
Freytag	96	91	99

6. Indirekte Gleichstrommessung.

Zur Messung eines starken Gleichstromes ist ein Normalwiderstand von genau $^1/_{999}$ Ohm und ein Millivoltmeter von

1 Ohm benutzt worden gemäß Abb. 6. Das Millivoltmeter hat mehrere Klemmen. An der benutzten Klemme steht:

1Ω	1° = 2 Millivolt

Abgelesen ist 117,8°[1]).
Wie groß war der Strom?

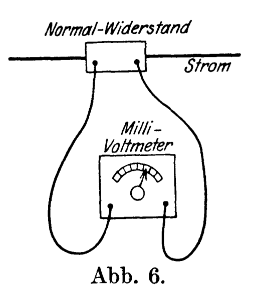


Abb. 6.

(Vgl. Kosack S. 5, 11, 47. — Bernoulli S. 525. — Hütte 1923, II., S. 971, 1094, 1133. — Dubbel II., S. 754, 772. — Freytag S. 1065, 1070.)

7. Leistungsfähigkeit einer Transmissionswelle.

Eine Transmissionswelle von 80 mm ∅ laufe mit 130 Umdrehungen pro Minute.

Wieviel PS kann sie übertragen:

a) mit Rücksicht darauf, daß das Wellenmaterial in bezug auf Torsionsbeanspruchung nicht überanstrengt werden darf?

b) mit Rücksicht darauf, daß die Verdrehung für je einen Meter nicht mehr als $^1/_4{}^0$ betragen soll?

Welcher der beiden unter a und b berechneten Werte ist im wirklichen Betriebe zulässig?

(Vgl. Bernoulli S. 205, 206. — Hütte 1923, I., S. 1045, 1046. Dubbel I., S. 659, 660. — Freytag S. 243, 244.)

8. Messung der Temperaturerhöhung einer Spule.

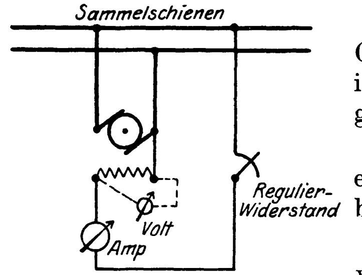


Abb. 7.

Der Schenkelwiderstand einer Gleichstrom - Nebenschlußmaschine ist vor und nach der Betriebszeit gemessen.

Die Schaltung bei der Messung entsprach dem beigefügten Schaltbild Abb. 7.

Die Ablesungen der Instrumente waren:

	Amperemeter	Voltmeter
vor dem Betrieb	12,04 Amp.	112,4 Volt.
nach dem Betrieb	10,85 Amp.	111,3 Volt.

[1]) ° bedeutet „Skalenteile“.

Um wieviel hat sich die Schenkelwicklung im Betriebe erwärmt?

[Der Widerstand des Kupfers steigt für je 1^0 C um 0,4 %.]

(Bernoulli S. 520. — Hütte 1923, II., S. 972. — Dubbel II., S. 753. — Freytag S. 1066. — Kosack S. 5 bis 7.)

9. Berechnung der Tragfähigkeit eines Seiles.

Mit wieviel kg kann ein Stahldrahtseil von 500 m Länge außer seinem Eigengewicht noch belastet werden, wenn es aus 84 Drähten von je 1,4 mm ∅ besteht, die Reißfestigkeit des Materials 12000 kg pro qcm ist und 8fache Sicherheit gefordert wird?

(Vgl. Bernoulli S. 63, 139, 137. — Hütte 1923, I., S. 743, 582, 579. — Dubbel I., S. 577, 439, 427. — Freytag S. 91, 93, 85.)

10. Kosten der elektrischen Warmwasserbereitung.

Welche Stromkosten entstehen beim Erwärmen von $1^1/_2$ Liter Wasser in einem elektrischen Kochgefäß von 20^0 C bis zum Kochen?

Strompreis 15 Goldpfg für die Kilowattstd; Wirkungsgrad des Kochgefäßes 0,85; 427 mkg = 1 Kilokalorie; 1 PS = 736 Watt.

Bemerkung: Es wird angenommen, daß man weitere Ziffern über das Verhältnis von elektrischen und thermischen Einheiten als die oben angegebenen weder im Kopf hat noch nachschlagen kann.

(Vgl. Bernoulli S. 362, 521. — Hütte 1923, I., S. 188, 477, 966. — Dubbel I., S. 384; II., S. 741. — Freytag S. 466. — Kosack S. 18, 17.)

11. Fördermenge einer Kolbenpumpe.

Eine doppeltwirkende Kolbenpumpe von 600 mm Hub, 220 mm Plungerdurchmesser und 70 Umdrehungen in der Minute sei gegeben.

Gesucht: Ihre Wasserförderung in cbm/Stde. (Der Kolbenstangendurchmesser ist zu vernachlässigen.)

(Vgl. Bernoulli S. 320, 321. — Hütte 1923, II., S. 677. — Dubbel II., S. 192, 196, 107. — Freytag S. 945.)

12. Belastungsfähigkeit einer elektrischen isolierten Leitung.

Von einer elektrischen Gleichstromzentrale führt eine isolierte Aluminiumleitung zu einem Elektromotor für 220 Volt, dessen Entfernung von der Zentralenschalttafel 400 m beträgt. Der Querschnitt des verwendeten Aluminiumseiles ist 95 qmm. Festzustellen ist, wieviel PS der Motor, dessen Wirkungsgrad 0,89 beträgt, höchstens leisten darf, ohne daß die Erwärmung

der Leitung oder der Spannungsverlust in der Leitung die zulässigen Grenzen überschreitet. Zugelassen sei ein Spannungsabfall von 15% der Zentralenspannung. Die Spannung am Motor soll 220 Volt betragen.

(Vgl. Bernoulli S. 522, 520. — Hütte 1923, II., S. 1152, 971, 972. — Dubbel II., S. 840, 753. — Freytag S. 1127, 1066. — Kosack S. 271, 5.)

13. Berechnung einer Achse.

Eine Achse aus Flußeisen mit kreisförmigen Querschnitten, von 2700 mm Länge (gemessen von Mitte Lager bis Mitte Lager) und einem Durchmesser in der Mitte von 310 mm trägt in der Mitte ein Schwungrad. Wie schwer darf das Schwungrad sein, wenn das Eigengewicht der Achse vernachlässigt und wenn nur die Biegungsbeanspruchung in Betracht gezogen wird?

(Vgl. Bernoulli S. 178, 143, 144, 147. — Hütte 1923, I., S. 604, 631, 647, 656. — Dubbel I., S. 435, 456, 480, 482. — Freytag S. 90, 96, 99, 104.)

14. Spezifischer Verbrauch einer Glühlampe.

An einer hochkerzigen mit Wechselstrom betriebenen Metallfadenlampe seien während des Brennens gleichzeitig folgende Messungen gemacht:

mit Photometer: 2570 HK (Hefnerkerzen);
mit Voltmeter: 110,0 Volt;
mit Amperemeter: 13,57 Amp.

a) Wie groß ist der spezifische Wattverbrauch (die „Ökonomie“) der Lampe?

b) Welches sind übliche Werte der Ökonomie für Kohlefadenlampen und für Metalldrahtlampen?

(Vgl. Bernoulli S. 570. — Hütte 1923, II., S. 949, 948. — Dubbel II., S. 829. — Freytag S. 1132. — Kosack S. 239, 242.)

15. Eichung einer Stoppuhr.

Eine Stoppuhr, die nur einen großen Sekundenzeiger und einen kleinen Minutenzeiger besitzt, dessen Zifferblatt bis 30 Minuten reicht, der also in $1/2$ Stunde einmal umläuft, ist mit einer genau gehenden normalen Uhr verglichen. Sie wurde losgelassen am 18. XI. 22, nachm. 4 Uhr 21 Min 0 Sek. Am gleichen Tage, nachm. 4 Uhr 56 Min 0 Sek wurde an der Stoppuhr, ohne daß sie angehalten wurde, abgelesen: 4 Min 32 Sek. Am 19. XI. 22 vorm. 11 Uhr 25 Min 0 Sek erfolgte in gleicher Weise eine Ab-

lesung, bei der die Stoppuhr 17 Min 44 Sek zeigte. Am 19. XI. 22 nachm. 4 Uhr 58 Min 0 Sek wurde sie gestoppt und zeigte dann 16 Min 12,4 Sek.

Welche Korrektur muß an den mit der Stoppuhr gemessenen Zeitdauerangaben angebracht werden? (In $^0/_0$ der Angabe der Stoppuhr.)

16. Indirekte Gleichstrommessung.

Zur Messung eines Gleichstromes ist ein Normalwiderstand von genau $\frac{1}{10}$ Ohm und ein Millivoltmeter gemäß der nebenstehenden Abb. 8 benutzt worden. Das Millivoltmeter hat mehrere Klemmen. An der benutzten Klemme steht:

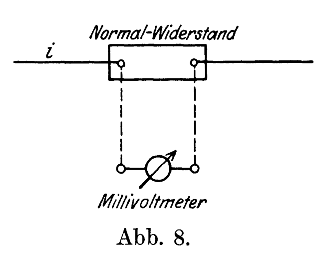


Abb. 8.

„1 Ω; 1° = 2 Millivolt".

Abgelesen ist 95,6°.

Wie groß ist der Strom i?

(Vgl. Kosack S. 5, 11, 47. — Bernoulli S. 525. — Hütte 1923, II., S. 971, 1094, 1133. — Dubbel II., S. 754, 772. — Freytag S. 1065, 1070).

17. Berechnung eines Balkens auf Biegung.

Mit wieviel Kilogramm pro laufenden Meter darf ein Kiefernholzbalken von 140 mm Breite und 360 mm Höhe, der zwischen zwei um 5 m voneinander entfernten Auflagepunkten horizontal frei aufliegt, belastet werden, wenn die Last gleichmäßig über die Länge verteilt ist und das Eigengewicht des Balkens vernachlässigt wird?

(Vgl. Bernoulli S. 148, 143, 145, 179. — Hütte 1923, I., S. 658, 631, 645, 609. — Dubbel I., S. 484, 456, 479, 437. — Freytag S. 105, 96, 99, 91.)

18. Schaltbild für einen Gleichstrommotor.

Es ist ein Schaltbild zu zeichnen für einen Gleichstrom-Nebenschlußmotor, dessen Umdrehungszahl durch einen besonderen Regulierwiderstand geregelt werden soll. Das Schema soll enthalten: Sammelschienen, Sicherungen, Schalter, Anlasser, Tourenregler, Motoranker, Schenkelwicklung. Der Hauptstromkreis und der Erregerstromkreis sind verschieden stark zu zeich-

nen. An den Sammelschienen sind Polbezeichnungen anzubringen und bei allen Leitungen ist die Stromrichtung durch Pfeile anzudeuten. Am Anlasser ist an den entprechenden Stellungen anzuschreiben „Aus“ bzw. „Ein“. Am Tourenregler ist ein Pfeil einzuzeichnen mit der Bezeichnung „Schneller“.

(Vgl. Bernoulli S. 543, 548. — Hütte 1923, II., S. 1025, 1026, 1138, 1111. — Dubbel II., S. 803 bis 806. — Freytag S. 1096, 1097. — Kosack S. 109, 113, 305.)

19. Bestimmung der Länge einer unzugänglichen Preßluftflasche aus Druckmessungen.

Von einer langen zylindrischen Preßluft-Stahlflasche A, die 100 at Überdruck verträgt und deren lichter Durchmesser zu 150 mm bekannt ist, sollte wenigstens näherungsweise die Länge bestimmt werden, die ohne große Umstände und Kosten in der üblichen Weise nicht gemessen werden konnte, weil die Flasche vollständig eingemauert war.

Zu dem Zweck wurde aus einer zweiten ebenfalls zylindrischen Flasche B, deren Dimensionen bekannt waren (Länge des Innenraumes 1,5 m, lichte Weite 230 mm), Preßluft in Flasche A übergelassen, und es wurde an beiden Flaschen mit zuverlässigen Manometern der Druck der Preßluft gemessen, und zwar sowohl vor dem Überlassen, als auch so lange Zeit nach dem Überlassen, daß angenommen werden durfte, daß die Preßluft in beiden Flaschen inzwischen wieder die Raumtemperatur angenommen hatte.

Die Ablesungen an den Manometern waren:

	an Flasche A	an Flasche B
vor dem Überlassen	14,8 at	62,5 at
nach dem Überlassen	31,4 at	34,7 at

Die Manometer zeigten, wie üblich, metrische Atmosphären, und zwar Überdruck (über den äußeren Luftdruck) an. Die Flaschen und Rohrleitungen waren dicht. Das Volumen der Rohrleitungen war verschwindend klein gegenüber dem der Flaschen.

20. Umrechnung einer auf relativen Spannungsverlust berechneten elektrischen Leitung bei Änderung des relativen Spannungsverlustes und der Betriebsspannung.

Die Berechnung eines Kabels auf Spannungsverlust habe 600 qmm ergeben, wenn 5 % Spannungsverlust zugelassen war und die Betriebsspannung in der Zentrale 2000 Volt (Drehstrom) beträgt.

Welcher Querschnitt würde bei im übrigen gleichen Verhältnissen, insbesondere bei gleicher in die Leitung geschickter Leistung nötig sein, wenn 10 % Spannungsverlust zugelassen werden und die Betriebsspannung auf 6000 Volt erhöht wird?

(Vgl. Bernoulli S. 520, 523. — Hütte 1923, II., S. 971, 1155. — Dubbel II., S. 753, 843. — Freytag S. 1066. — Kosack S. 5, 273.)

21. Berechnung von 2 Nieten.

Aus einer Mauer ragt ein kurzes Stück eines Doppel-T-Trägers hervor. An ihm wird links und rechts je ein Flacheisenstab befestigt, an dessen Ende ein Gewicht von 250 kg hängt. Die Befestigung der beiden Flacheisen am Träger erfolgt durch 2 Niete; der wagerechte Abstand der beiden Niete voneinander beträgt 90 mm. Der wage rechte Abstand vom Aufhängepunkt der Last bis zum nächsten Niet beträgt 800 mm (vgl. die Skizze Abb. 9).

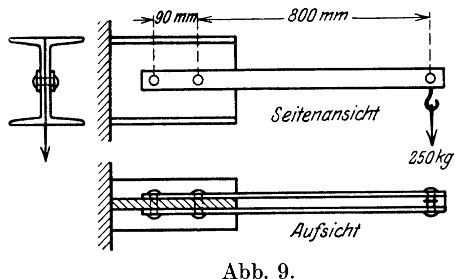


Abb. 9.

Zu berechnen sind die Niete, und zwar nur auf Scherung.

(Vgl. Bernoulli S. 81, 75, 197. — Hütte 1923, I., S. 257, 254, 916. — Dubbel I., S. 293, 621. — Freytag S. 56, 57, 1137, 140.)

22. Auswahl von Vorschaltwiderständen für Bogenlampen.

An eine Gleichstromanlage mit 220 Volt sollen 12 Differential-Bogenlampen von je 12 Amp in Reihen von je 4 Stück angeschlossen werden. Der Katalog gibt als Lampenspannung 43 Volt an. Als Vorschalt- und Beruhigungswiderstand wirkt zum Teil auch die Leitung, die deswegen aus Eisen hergestellt ist (spezifischer Widerstand des Eisens 0,15 Ohm qmm/m). Sie besteht aus massivem Runddraht von 5 mm Durchmesser und hat für jede Bogenlampengruppe eine Länge von 270 m (Drahtlänge! Die Weglänge ist kleiner, unter Umständen nur halb so groß).

1. Das Schaltbild für die 12 Lampen nebst Leitungen, Sicherungen, Schaltern und Vorschaltwiderständen ist zu skizzieren.

2. Das Bestellschreiben für die Vorschaltwiderstände ist aufzusetzen.

(Vgl. Bernoulli S. 572, 520. — Hütte 1923, II., S. 952, 971, 972, 953. — Dubbel II., S. 830, 753. — Freytag S. 1132, 1066. — Kosack S. 5, 6, 246. — Strecker[1]) S. 49, 494 bis 496.)

23. Berechnung eines Förderseiles.

a) Ein Förderseil sei zu berechnen (auszuwählen aus Tabelle Bernoulli S. 181; reichlicher Trommeldurchmesser anzunehmen!). [Hütte 1923 Bd. I, S. 1152; Dubbel I., S. 787; Freytag S. 221.]

Die Teufe sei 800 m.

Jede Förderschale wiege mit Wagen und Nutzlast 3 t.

Ein Unterseil sei nicht vorhanden.

Die größte Verzögerung beim Einfallen der Bremse sei 2 m/sek².

Bei dieser Verzögerung werde noch vierfache Sicherheit des Seiles gefordert.

b) Abgeänderte Aufgabe:

Jede Schale wiege 8 t (statt 3).

Die Sicherheit sei 6fach (statt 4fach) verlangt.

Alles übrige wie oben.

Die Seiltabelle wird jetzt nicht mehr ausreichen; doch ist aus ihr durch Extrapolation der Querschnitt (in qmm) des passenden Seiles zu ermitteln.

(Vgl. Hütte 1923, I., S. 582. — Freytag S. 93. — Dubbel I., S. 439, 427. — Bernoulli S. 139.)

24. Messung der Phasenverschiebung einer Drehstromanlage.

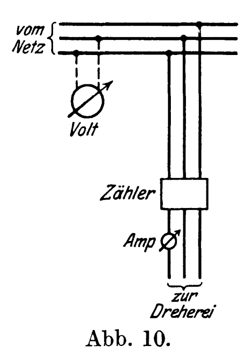


Abb. 10.

In die von der Zentrale zu einem Werksteil (Dreherei) führende elektrische Drehstromleitung ist ein Stromzeiger und ein Zähler eingebaut gemäß Abb. 10. (Die Ströme in den drei Leitungen sind als gleich groß anzunehmen.) Während einer Beobachtungszeit von 3 Stunden und 28 Minuten zeigte das Voltmeter dauernd 508 Volt, das Amperemeter dauernd 123 Amp.

Der Zähler stand zu Anfang auf 278549, am Schluß der Beobachtungszeit auf 279035.

[1]) Strecker, K.: Hilfsbuch f. d. Elektrotechnik. 9. Aufl. Berlin: Julius Springer 1921.

Auf dem Zählerschild steht: „Eine Einheit am letzten Zifferblatt gleich 0,5 kWStd."

Wie ist der Leistungsfaktor (cos φ) der Dreherei?

(Vgl. Bernoulli S. 552, 560. — Hütte 1923, II., S. 981, 1095; I., S. 187. — Dubbel II., S. 761, 767, 742, 774. — Freytag S. 1076, 1079, 1124. — Kosack S. 39, 46, 15, 65, 67.)

25. Berechnung eines Vorgeleges.

Auf einer Transmissionswelle, die mit 150 Umdr. in der Minute umläuft, befindet sich eine Riemenscheibe von 1100 mm Durchmesser. Von dieser soll eine Dynamomaschine angetrieben werden, die mit 1200 Umdr. p Min laufen muß und deren Riemenscheibe einen Durchmesser von 210 mm hat. Wegen der starken Übersetzung soll ein Vorgelege angewendet werden. Zu berechnen sind die Durchmesser der beiden Vorgelege-Riemenscheiben. Die ganze Anordnung ist durch eine einfache Skizze mit beigeschriebenen Werten für n und D zu erläutern.

(Vgl. Bernoulli S. 116. — Hütte 1923, I., S. 1136, 1143. — Dubbel I., S. 769. — Freytag S. 213, 210.)

26. Temperaturkoeffizient von Glühlampen.

Eine Kohlefadenlampe und eine Metalldrahtlampe, erstere für 220 Volt, letztere für 110 Volt, sind einmal mit der ihnen zukommenden Spannung betrieben, wobei sie weiß brennen, — einmal mit etwa halber Spannung (rotglühend). In allen vier Fällen ist sowohl der Lampenstrom als die Lampenspannung gemessen, und zwar wurde dabei gefunden:

		Volt	Ampere
Kohlefaden-Lampe	weißglühend	225,0	0,0395
	rotglühend	112,3	0,0164
Metalldraht-Lampe	weißglühend	113,2	0,243
	rotglühend	55,2	0,129

Aus den 8 Ziffern ist zu beweisen, daß die eine (welche?) Lampe positiven, die andere negativen Temperaturkoeffizienten hat.

(Vgl. Kosack S. 5 bis 7. — Hütte 1923, II., S. 972. — Bernoulli S. 520. — Dubbel II., S. 753. — Freytag S. 1066.)

27. Erforderlicher Bremsdruck für eine Fördermaschine.

Gegeben seien folgende Werte:

Gewicht der beladenen Schale: 8 t (aufwärts gehend).

Gewicht der leeren Schale: 6 t (abwärts gehend).

Gesamtes Seilgewicht einschließlich Unterseil: 2000 kg.

Gewicht jeder Seilscheibe, quadratisch auf den Umfang (genauer: auf Mitte Seil) reduziert: 3 t.

Gewicht der Köpescheibe einschließlich Motoranker und Bremsscheibe, quadratisch auf den Köpescheibenumfang (genauer: auf Seilmitte) reduziert: 6 t.

Bremsscheiben-Durchmesser: 6 m.

Reibungskoeffizient zwischen Bremsscheibe und Bremsklotz: 0,3.

Köpescheiben-Durchmesser: 5 m.

Seilgeschwindigkeit beim Einfallen der Bremse: 12 m/sek.

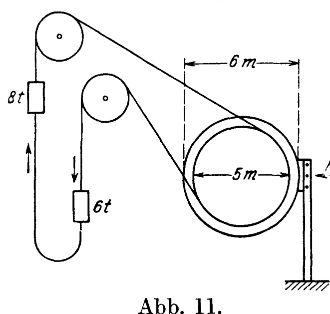


Abb. 11.

Die Körbe sollen nach Einfallen der Bremse noch 40 m fahren, ehe sie zum Stillstand kommen.

Bemerkung: Alle sonstige Reibung außer der Reibung zwischen Klotz und Bremsscheibe ist zu vernachlässigen.

Die Gesamtanordnung wird durch die folgende Abb. 11 erläutert.

Zu berechnen ist der erforderliche Bremsdruck P in kg.

(Vgl. Bernoulli S. 105, 106, 96, 91. – Hütte 1923, I., S. 187, 183, 282. – Dubbel I., S. 255, 256, 250, 306. – Freytag S. 69, 52, 80.)

28. Indirekte Gleichstrommessung.

Der Strom einer Metallfadenlampe von ca. 300 HK und 110 Volt soll gemessen werden. Verfügbar ist ein Millivoltmeter von 10 Ω Widerstand für 45 Millivolt, dessen Skala 150^0 hat, und ein Normalwiderstand von genau 0,01 Ω, der hinsichtlich der Erwärmung sicher den Lampenstrom verträgt.

1. Das Schema der Messung ist zu skizzieren.
2. Genügt das Instrument, oder besteht die Gefahr, daß es überlastet wird?
3. Wieviel Amp bedeutet 1^0 bei dieser Schaltung?
4. Wie groß wird der Ausschlag (in ^{0}) etwa werden?

(Vgl. Kosack S. 5, 11, 47. – Bernoulli S. 525. – Hütte 1923, II., S. 971, 1094, 1133. – Dubbel II., S. 753, 772. – Freytag S. 1065, 1070.)

29. Berechnung eines Tragzapfens.

Eine horizontale Achse läuft mit zwei an ihren Enden befestigten Tragzapfen aus Stahl in ihren Lagern aus Weißmetall und

macht 3 Umdrehungen pro Sekunde. Die Achse, deren Eigengewicht zu vernachlässigen ist, trägt ein Schwungrad von 8 t Gewicht, das jedoch nicht in der Mitte der Welle sitzt, sondern bei $^1/_3$ ihrer Länge. Zu berechnen ist der höher beanspruchte der beiden Tragzapfen, und zwar sowohl auf Festigkeit als auf Flächenpressung als auf Wärmeableitung. Welche Dimensionen muß danach dieser Zapfen haben? (Die Biegungsbeanspruchung soll nicht über 600 kg/qcm steigen, die Flächenpressung nicht über 60 kg/qcm. In der Bachschen Formel für die Wärmeabgabe ist $w = 80000$ zu wählen.)

(Vgl. Bernoulli S. 203, 204. — Hütte 1923, I., S. 1035, 1036, 290, 632, 255, 631, 647. — Dubbel I., S. 654, 655. — Freytag S. 236, 237.)

30. Reichweite einer Gleichstromleitung.

a) Wie weit kann man 50 kW, gemessen beim Verbraucher, bei Gleichstrom mit der Zentralenspannung 220 Volt leiten durch 2 Kabel von je 150 qmm Kupferquerschnitt, wenn der Spannungsverlust 10 $^0/_0$ nicht übersteigen soll?

b) Wie weit bei Aluminium? (alles übrige wie oben).

(Vgl. Bernoulli S. 521, 520, 523. — Hütte 1923, II., S. 1152, 971, 1155, 972. — Dubbel II., S. 840, 753, 843. — Freytag S. 1127, 1066. — Kosack S. 271, 272, 5, 273, 6.)

31. Fördermenge einer Wasser-Kolbenpumpe.

Eine doppelt wirkende Kolbenpumpe von 300 mm Zylinderdurchmesser und 500 mm Hub laufe mit 50 Umdrehungen pro Minute. Sie habe nur eine Kolbenstangen-Stopfbüchse; der Durchmesser der Kolbenstange betrage 70 mm.

Wieviel Liter pro Sekunde fördert die Pumpe, wenn ihr Lieferungsgrad (volumetrischer Wirkungsgrad) 0,9 ist?

(Vgl. Bernoulli S. 320, 321. — Hütte 1923, II., S. 677. — Dubbel II., S. 192, 193, 196, 197, 107. — Freytag S. 945.)

32. Schreibtischbeleuchtung durch eine Glühlampe.

Die kleine Arbeitsfläche auf meinem Schreibtisch soll durch eine Glühlampe ausreichend beleuchtet werden, die in einem Abstand von 1,5 m senkrecht darüber hängt. In einem Handbuche finde ich die Angaben, daß man bei einer Beleuchtungsstärke von 50 Lux so schnell wie bei Tageslicht liest, und daß 12 Lux das hygienische Minimum zum Lesen ist. Ich wünsche daher eine Beleuchtung von 20 Lux auf dem Schreibtisch zu haben.

1. Wie hell muß die Glühlampe mindestens sein und welche Lampengröße werde ich wählen?

2. Wieviel kostet der Strom pro Stunde, wenn ich eine Wolframlampe nehme und für die kWStd 40 Goldpfennige bezahle?

3. Wie ändern sich 1. und 2., wenn der Abstand von der Tischfläche nur 80 cm beträgt?

(Vgl. Kosack S. 237 bis 240. — Hütte 1923, II., S. 937, 961, 940, 949. — Dubbel II., S. 828, 829. — Freytag S. 1131, 1132. — Bernoulli S. 570.)

33. Tragfähigkeit einer Nietnaht.

Ein senkrechter auf Zug beanspruchter Stab einer Eisenkonstruktion bestehe aus Flacheisen (Blech) von 14 mm Dicke und 220 mm Breite. Da er länger ist als eine Blechlänge, so wird er aus mehreren Stücken zusammengesetzt. Die Verbindung erfolgt durch zweiseitige zweireihige Laschennietung. Der Nietdurchmesser beträgt 20 mm. Jede Nietreihe enthält 3 Niete.

a) Mit wieviel kg würde man den Stab belasten dürfen, wenn er keine Naht hätte?

b) Auf welchen Betrag ermäßigt sich die Ziffer unter a) bei Berücksichtigung der Naht, wenn jeder auf Abscherung beanspruchte Nietquerschnitt mit 475 kg/qcm auf Abscheren beansprucht werden darf?

(Vgl. Bernoulli S. 179, 198. — Hütte 1923, I., S. 605, 910, 911, 916. — Dubbel I., S. 436, 621, 624, 625. — Freytag S. 91, 1137, 141.)

34. Glühlampenbestellung.

Für eine im abgelegenen Ausland befindliche Gleichstromanlage nach dem Dreileitersystem, von der ich nur weiß, daß die anzuschließenden großen Motoren auf den Schildern die Aufschrift „440 Volt" tragen, sind telegraphisch Glühlampen zu bestellen. Das teure Kabeltelegramm soll möglichst kurz gehalten werden, aber völlig eindeutig sein, um Falschlieferungen und Rückfragen zu vermeiden.

Ein Beispiel eines solchen Telegramms ist aufzusetzen, wobei die oben etwa noch fehlenden, aber nötigen Angaben willkürlich zu ergänzen sind.

(Vgl. Bernoulli S. 528, 570. — Hütte 1923, II., S. 1112, 947 bis 950. — Dubbel II., S. 834, 835, 829. — Freytag S. 1119, 1132. — Kosack S. 260, 239 bis 242.)

35. Berechnung eines Balkens auf Biegung.

Ein mit 460 kg pro laufenden Meter belasteter Kiefernholzbalken von 110 mm Breite und 220 mm Höhe liegt zwischen

zwei Auflagepunkten horizontal frei auf. Wie weit dürfen die Auflagepunkte höchstens voneinander entfernt sein, wenn die Last gleichmäßig über die Länge verteilt ist und das Eigengewicht des Balkens vernachlässigt wird?

(Vgl. Bernoulli S. 148, 179, 143, 145. — Hütte 1923, I., S. 658, 609, 631, 645. — Dubbel I., S. 484, 437, 456, 479. — Freytag S. 105, 91, 96, 99.)

36. Schaltplan für eine Gleichstrom-Dreileiteranlage.

Für eine Gleichstrom-Dreileiteranlage ist ein Schaltungsschema zu zeichnen (ohne Instrumente und Apparate) mit folgenden Einrichtungen:

1 Dynamo für eine niedrigste Spannung von 440 Volt,
1 Akkumulatorenbatterie,
1 Ausgleichs-Maschinensatz (zur Spannungsteilung),
10 Glühlampen,
8 Bogenlampen,
1 Motor von $^1/_{10}$ PS,
2 Motoren von 20 und 100 PS.

Die Spannungswerte sind einzuschreiben.

(Vgl. Bernoulli S. 528, 572. — Hütte 1923, II., S. 1113, 954. — Dubbel II., S. 834, 835, 830. — Freytag S. 1122, 1119, 1133. — Kosack S. 258 bis 262, 307 bis 311, 246.)

37. Gesamtwirkungsgrad einer Dampfkraftanlage.

In einer Dampfanlage erzeuge jedes Kilogramm Kohle mit einem Heizwert von 7500 Kalorien 8 kg Dampf. Die Dampfmaschine brauche für je eine effektive Pferdestunde 10 kg Dampf.

1. Wie groß ist der Gesamtwirkungsgrad (oder „wirtschaftliche Wirkungsgrad") der Anlage (d. h. die Ausnutzung der Brennstoffenergie)?

2. Wo bleiben die Verluste hauptsächlich? (Antwort in zwei Worten!)

(Vgl. Bernoulli S. 367, 362, 500. — Hütte 1923, I., S. 552, 477; II., S. 303. — Dubbel I., S. 571, 384, II., S. 149. — Freytag S. 631, 466.)

38. Berechnung einer Gleichstromleitung auf Erwärmung und Spannungsabfall bei gegebener Zentralenspannung, Länge und übertragener Leistung.

Die Stromzuleitungen zu einem Gleichstrommotor von 150 PS sind zu berechnen, d. h.: es ist ihr erforderlicher Querschnitt zu bestimmen, und zwar soll die Berechnung sowohl nach dem Ge-

sichtspunkt der Erwärmung erfolgen, als nach dem des Spannungsabfalls. Die Leitung sei isoliertes Kupferseil, in Innenräumen verlegt.

Die Spannung in der Zentrale sei 500 Volt,
die Entfernung Zentrale bis Motor 400 m,
der Wirkungsgrad des Motors 0,92.
Die Spannung am Motor soll nicht geringer sein als 475 Volt.

(Vgl. Bernoulli S. 540, 521, 523, 520. — Kosack S. 119, 17, 271, 273, 5, 272. — Strecker S. 439, 440. — Dubbel II., S. 840, 741, 753, 843. — Hütte 1923, II., S. 992, 966, 1150, 1155, 972. — Freytag S. 1098, 1127, 1066.)

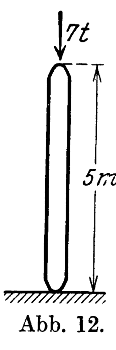


Abb. 12.

39. Berechnung einer Säule.

Ein Doppel-T-Träger (Flußeisen) sei auf Knicken beansprucht. Er ruhe mit dem Fuß frei auf dem Fundament; ebenso liege die Last frei auf seinem Kopfende, das aber an seitlicher Ausweichung verhindert sei.

Die Last betrage 7 t, die Säulenlänge 5 m (vgl. die nebenstehende Abb. 12).

Verlangt sei 7fache Sicherheit gegen Knicken.

Gesucht wird das passende Normalprofil.

Hilfsmittel:	Bernoulli	Dubbel Bd. I	Freytag	Hütte 1923, I
Knickformeln	139, 140	439, 440	92	616
Trägertabelle	71	586	1157	771
Dehnungskoeffizient (Elastizitätsmodul)	172	427	87	585

40. Widerstand einer Osramlampe.

Wieviel Ohm Widerstand hat etwa eine Osramlampe für 127 Volt und 25 HK?

(Vgl. Bernoulli S. 570. — Hütte 1923, II., S. 949. — Dubbel II., S. 829. — Freytag S. 1132. — Kosack S. 239.)

41. Nutzleistung einer Wasserkraft.

Ein Fabrikant hat die Berechtigung erworben, einem Gebirgsfluß bei der Höhenlage 378 m NN (d. h. 378 m über Normal-Null) eine Wasserstromstärke von 30 cbm/min zu entziehen und sie ihm erst bei der Höhenlage von 331 m NN wieder zuzuführen.

Zu ermitteln ist die aus dieser Wassergerechtsame erzielbare elektrische Leistung, wenn sowohl der Obergraben (von der Entnahmestelle am Fluß bis zur Turbinenanlage) als auch der Untergraben (von der Turbinenanlage bis zur Einmündung in den Fluß) ein Gefälle von 1 mm auf den laufenden Meter erfordert, und wenn die Länge beider Kanäle zusammen 3,5 km beträgt, wenn ferner der Gesamtwirkungsgrad der Turbinen zu 81%, der der Dynamo zu 93% angenommen und der Verlust bei der Übersetzung zwischen Turbine und Dynamo durch Zahnräder und Riemen auf 5% veranschlagt wird.

(Vgl. Bernoulli S. 292, 521. — Dubbel II., S. 217, 741. — Hütte 1923, II., S. 341, 966. — Freytag S. 767, 770, 771. — Kosack S. 17.)

42. Berechnung eines Lederriemens.

Für eine Zentrifugalpumpe, die 700 Umdrehungen in der Minute macht, eine Antriebsleistung von 25 PS erfordert und eine Riemenscheibe von 450 mm Durchm. hat, soll ein einfacher Antriebslederriemen beschafft werden. Zu bestimmen ist dessen Breite. In dem folgenden Auszug aus einer Tabelle von Gehrckens ist für verschiedene Riemengeschwindigkeiten und Scheibendurchmesser die für je 1 cm der Riemenbreite übertragbare Umfangskraft in kg angeben. Der hier zutreffende Wert ist danach durch Interpolation zu ermitteln.

	$v = 3$	5	10	20	30	40	50	m/s
Scheiben ∅ 400 mm	5	6	7	9	10	10,5	11	kg/cm
Scheiben ∅ 500 mm	6	7	8	10	11	11,5	12	kg/cm

(Vgl. Bernoulli S. 231, 116, 117, 232. — Hütte 1923, I., S. 186, 187, 1133, 1137, 1141. — Dubbel I., S. 256, 257, 771, 768, 758. — Freytag S. 212, 202.)

43. Entwurf eines Schaltbildes für eine einfache Gleichstromzentrale ohne Batterie.

Für eine Zweileiter-Gleichstromzentrale mit 220 Volt Betriebsspannung mit 3 Generatoren von 200 bzw. 400 bzw. 600 kW ohne Akkumulatorenbatterie ist ein Schaltungsschema zu zeichnen.

Die Maschinen arbeiten mit Fremd-Erregung von den Sammelschienen. Alle zum ordnungsmäßigen und sicheren Betrieb erforderlichen Apparate, Instrumente und Verbindungsleitungen sind einzuzeichnen und bei den Apparaten ist ihre Höchststromstärke (Nennstromstärke) beizuschreiben, bei den Instrumenten ihr Meßbereich. An den Regulierwiderstands-Kurbeln ist an einer End-

stellung beizuschreiben „Aus“ und außerdem ein Richtungspfeil beizuzeichnen. Daneben ist anzugeben, wie eine Bewegung der Kurbel in der Pfeilrichtung auf die Spannung, Stromstärke und Leistung der Maschine wirkt, und zwar

a) wenn sie leer läuft (vor dem Einschalten auf die Sammelschienen);

b) wenn sie allein das Netz versorgt;

c) wenn sie parallel mit anderen Maschinen das Netz versorgt.

Einzuzeichnen sind auch die Apparate und Instrumente für 4 Speiseleitungen, die das Netz speisen.

(Vgl. Bernoulli S. 543, 568. — Hütte 1923, II., S. 992, 1109. — Dubbel II., S. 785, 832. — Freytag S. 1084, 1120. — Kosack S. 88, 92, 103, 299.)

44. Bestimmung der indizierten Leistung einer Dampfmaschine.

Eine Einzylinder-Dampfmaschine von 300 mm Kolbendurchmesser und 500 mm Hub sei indiziert worden. Das Indikatordiagramm sei planimetriert worden und sein Inhalt zu 700 qmm ermittelt. Seine Länge sei gleich 60 mm gefunden. Auf der benutzten Indikatorfeder stehe: „1 mm = 0,25 at“. Die Umdrehungszahl während des Indizierens sei gemessen zu 140 i. d. Min.

Gesucht: die indizierte Leistung der Maschine in PS. Dabei mögen die Diagramme von Deckelseite und Kurbelseite als gleich angenommen und die Kolbenstangenstärke vernachlässigt werden.

Bemerkung: Auf den Federn steht gewöhnlich „1 mm = ... kg“. Gemeint ist aber nicht kg, sondern kg/cm² oder metrische (oder neue) Atmosphäre (at).

(Vgl. Bernoulli S. 416, 421, 422. — Hütte 1923, II., S. 383, 384, 119; I., S. 480. — Dubbel II., S. 109, 107. — Freytag S. 588 bis 593, 498.)

45. Berechnung einer Wind-Rohrleitung für einen Hochofen.

Ein Hochofen erfordere minutlich 500 kg Wind von 700° C und 0,3 at Überdruck. In der Leitung zwischen Winderhitzer und Hochofen soll die Luftgeschwindigkeit 15 m/sek betragen.

1. Wie groß muß der Durchmesser der zylindrischen Rohrleitung zwischen Winderhitzer und Hochofen sein?

2. Wie groß muß der Durchmesser der Leitung zum Winderhitzer sein bei gleicher Luftgeschwindigkeit?

(Vgl. Bernoulli S. 65, 339, 354. — Hütte 1923, I, S. 482, 477, 405. — Dubbel I., S. 386, 578, 360, 385. — Freytag S. 1169, 467.)

46. Ladung einer elektrischen Grubenlampe.

Eine tragbare elektrische Akkumulatorenlampe (Grubenlampe) ladet der Besitzer im Anschluß an seine vom Elektrizitätswerk gespeiste Hausinstallation in der durch das Schaltbild Abb. 13 angedeuteten Weise.

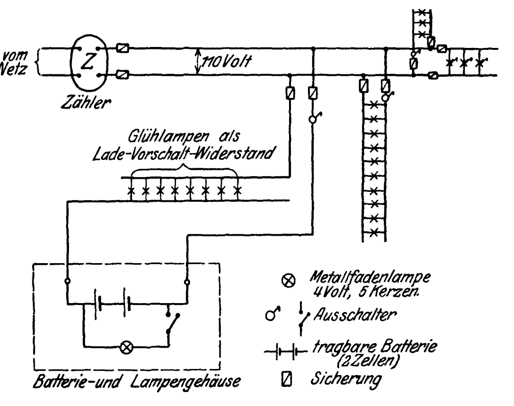


Abb. 13.

1. Wieviel Metallfadenlampen von 16 Kerzen für 110 Volt sind als Lade-Vorschaltwiderstand nötig, wenn die Ladung mit etwa 4 Amp erfolgen soll?

2. Wie teuer wird bei einem Strompreise des Elektrizitätswerkes von 50 Goldpfennigen für die kWStd dem Besitzer die Kerzenstunde der tragbaren Lampe bei dieser Art der Ladung?

3. Wieviel kostet ihm die Kerzenstunde einer normalen Metallfadenlampe seiner Installation?

4. Wodurch ist der hohe Betrag unter 2. zu erniedrigen?

(Vgl. Bernoulli S. 567, 570. — Hütte 1923, II., S. 989, 949, 990. — Dubbel II., S. 783, 784, 829. — Freytag S. 1083, 1132. — Kosack S. 222, 239, 223.)

47. Berechnung eines Stahldrahtseiles.

Ein aus 84 Drähten bestehendes Stahldrahtseil von 800 m Länge soll außer seinem Eigengewicht noch 2000 kg tragen. Wie groß muß der Durchmesser der einzelnen Drähte sein, wenn die Reißfestigkeit des Materials 12000 kg pro qcm ist und 6fache Sicherheit gefordert wird.

(Vgl. Bernoulli S. 63, 139, 137. — Hütte 1923, I., S. 743, 582, 579. — Dubbel I., S. 577, 439, 427. — Freytag S. 91, 93, 85.)

48. Glühlampen-Einkauf (Wahl zwischen Metalldrahtlampen und Kohlefadenlampen).

Für meine Lichtanlage, für die ich den Strom kaufe, will ich Glühlampen beschaffen, und zwar solche von 25 HK und 220 Volt. Zur Wahl mögen nun folgende zwei Arten stehen:

a) Kohlefadenlampen: spezifischer Verbrauch (Ökonomie) 3,8 Watt/HK, Nutzbrenndauer 600 Stunden; Preis (einschl. Steuer) 85 Goldpfennige pro Stück.

b) Metalldrahtlampen: spezifischer Verbrauch 1,2 Watt/HK, Nutzbrenndauer 1500 Stunden; Preis (einschl. Steuer) 3,90 Goldmark pro Stück.

Wie billig muß der Strom sein, damit es richtig ist, Kohlefadenlampen zu wählen (wenn andere Rücksichten als die angedeuteten nicht in Betracht kommen, wie z. B. Bruchsicherheit, Unbequemlichkeit des häufigeren Auswechselns usw.)?

(Vgl. Kosack S. 240, 239, 242. — Bernoulli S. 570. — Hütte 1923, II., S. 947 bis 949. — Dubbel II., S. 829. — Freytag S. 1132.)

49. Wahl der Betriebskraft für eine Pumpenanlage.

Ein Braunkohlentagebau hat durch Zentrifugalpumpen dauernd und gleichmäßig sekundlich 1,6 m³ Wasser auf eine Höhe von 20 m zu fördern. Der Rohrleitungs-Druckverlust beträgt 1,5 m Wassersäule. Der Wirkungsgrad der Pumpen ist 0,7. Als Antriebsmittel für die Pumpen stehen zur Wahl Elektromotoren, für die der Strom zum Preise von 6 Goldpfennigen pro kWStd bezogen werden kann (gemessen an den Motorklemmen), oder Dieselmotoren für Teerölbetrieb. Das Teeröl von 9900 WE/kg kostet 50 Goldmark pro Tonne. Der Gesamtwirkungsgrad (wirtschaftliche Wirkungsgrad) der Dieselmotoren werde zu 0,35 angesetzt, der der Elektromotoren zu 0,92.

1. Welche Betriebsart ist billiger, wenn nur die Kosten des Betriebsstoffs berücksichtigt werden?

2. Wie groß ist der Unterschied in Goldmark pro Jahr?

(Vgl. Bernoulli S. 323, 336, 540, 521, 362, 500, 367. — Hütte 1923, II., S. 664, 672, 966; I., S. 188, 477; II., S. 303; I., S. 552. — Dubbel II., S. 196, 197, 741; I., S. 384; II., S. 179, 571. — Freytag S. 981, 982, 1098, 466, 713, 631. — Kosack S. 119, 17.)

50. Warmwasserbereitung durch Dampf.

Für eine Zeche soll eine Badeeinrichtung mit 500 Brausebädern pro Schicht geschaffen werden. Die gewünschte Warmwassertemperatur beträgt 30° C, der Wasserverbrauch pro Bad 50 Liter. Die Erwärmung des Wassers erfolgt durch unmittelbares Einleiten von Dampf ins Wasser. Die Wärmeverluste vom Kessel bis zur Brause mögen zu 25% der im Dampf am Kessel enthaltenen Wärme angenommen werden. Die Bereitungszeit für den Wasserbedarf einer Schicht soll 2 Stunden betragen. Der Kessel

liefert gesättigten Dampf von 6 at Überdruck. Die Brunnenwassertemperatur beträgt 10° C.

a) Wieviel Dampf muß zur Bereitung der Bäder für eine Schicht erzeugt werden?

b) Wieviel Kohlen werden dazu verbraucht, wenn gute westfälische Steinkohle von 7500 WE/kg zur Verwendung kommt und der Wirkungsgrad des Kessels zu 70 % angenommen wird?

c) Wie hoch stellen sich die Kohlenkosten bei einem Kohlenpreise von 15 Goldmark/Tonne?

d) Wieviel Quadratmeter Heizfläche muß der Flammrohrkessel haben, wenn er nur diesem Zweck dienen, behufs guter Brennstoffausnutzung mäßig angestrengt und mit Rücksicht auf spätere Vergrößerung von vornherein für das 1,5fache des vorläufigen Bedarfes bemessen werden soll?

(Vgl. Bernoulli S. 386, 367, 397, 399. — Hütte 1923, I., S. 499, 552; II., S. 6, 7. — Dubbel I., S. 397, 571, II 5, 4. — Freytag S. 478, 631, 634.)

51. Berechnung eines Drehstromkabels auf Spannungsabfall bei gegebener Länge und übertragener Leistung.

Ein Nebenbetrieb eines Hüttenwerkes soll vom Hauptwerk aus mit Energie versorgt werden, und zwar mit Drehstrom von 2000 Volt, gemessen im Hauptwerk.

Die Entfernung der beiden Werke voneinander beträgt 4,3 km.

Der Energiebedarf des Nebenbetriebes sei 800 kW.

Die Phasenverschiebung cos φ am Verbrauchsorte werde angenommen zu 0,75.

Gesucht: Der erforderliche Querschnitt des Drehstromkabels (Kupfer), wenn der zugelassene Spannungsverlust 5 % beträgt. Dabei ist anzunehmen, daß die Leitung frei von Selbstinduktion und Kapazität ist.

(Vgl. Bernoulli S. 560, 523, 520, 521. — Hütte 1923, II., S. 1095, 985, 1155, 971, 972, 1152, 983, 984, 1157, 1158. — Dubbel II., S. 767, 766, 843, 753, 840. — Freytag S. 1079, 1078, 1066. — Kosack S. 46, 273, 5, 271.)

52. Leistungsfähigkeit eines Riementriebes.

Eine Dampfmaschine treibt eine Zentrifugalpumpe mittels einfachen Riementriebes an. Die Dampfmaschine macht 120 Umdrehungen in der Minute. Ihre Riemenscheibe hat einen Durchmesser von 1400 mm. Die Spannung im Riemen soll in dem am stärksten beanspruchten Trum nicht größer werden als 20 kg/cm². Der Riemen hat eine Breite von 260 mm und eine Stärke von 5 mm. Beide Riemenscheiben bestehen aus Holz; der Reibungs-

koeffizient zwischen Holz und Riemen betrage $\mu = 0{,}47$. Der Umschlingungswinkel werde zu 180^0 angenommen.

Wieviel PS kann der Riemen höchstens auf die Pumpe übertragen, wenn durch entsprechendes Verschieben der Pumpe dafür gesorgt wird, daß gleichzeitig mit der Rutschgrenze auch die zulässige Höchstspannung im Riemen erreicht wird?

(Vgl. Bernoulli S. 231, 116, 117, 114. — Hütte 1923, I., S. 1130, 1137, 302, 303. — Dubbel I., S. 256, 770, 758, 331, 332. — Freytag S. 202, 212.)

53. Aus Eisen und Kupfer kombinierte Zuleitung für Bogenlampen.

Ein einsam liegendes Kurhaus mit eigener elektrischer Lichtanlage will die zu ihm führende Allee durch 2 Gleichstrom-Flammenbogenlampen von 12 Amp beleuchten. Jede Lampe verlangt eine Spannung von 47 Volt an den Lampenklemmen. Die Spannung am Schaltbrett beträgt 110 Volt. Die Entfernung vom Schaltbrett des Kurhauses bis zur letzten Bogenlampe ist 225 m. Die Leitung soll zum Teil aus Kupferdraht von 10 qmm Querschnitt bestehen, zum übrigen Teil aus Eisendraht von 5 mm Durchmesser (Telegraphendraht).

1. Wie lang muß der aus Kupfer und wie lang der aus Eisen bestehende Teil der Leitung sein, damit die Lampen keinen besonderen Vorschaltwiderstand brauchen?

2. Die unter 1 gestellte Bedingung ist nicht mehr erfüllbar, wenn die oben mit 225 m angegebene Länge gewisse Grenzen überschreitet oder unterschreitet. Welches sind diese beiden Grenzen?

(Vgl. Kosack S. 246, 5, 6. — Bernoulli S. 572, 520. — Hütte 1923, II., S. 952, 971, 972, 953. — Dubbel II., S. 830, 753. — Freytag S. 1132, 1066.)

54. Verwendung von Gichtgas zur Krafterzeugung.

Von einer Hochofenanlage stehen in 24 Stunden 120000 cbm Gichtgase zur Verfügung, gemessen bei einem absoluten Druck von 775 mm Hg und einer Temperatur von 123^0 C. Es ist zu ermitteln, wieviel kW daraus dauernd erzeugt werden können, und zwar a) mit Kesseln und Dampfmaschinen, b) mit Gasmaschinen. Dabei sind folgende Zahlen zugrunde zu legen:

Zu a): Unterer Heizwert des Gases: 900 WE für 1 cbm bei 0^0 C und 760 mm Hg.

Spezifische Wärme des Gases: $c_p = 0{,}24 \frac{\text{WE}}{\text{kg} \cdot {}^0\text{C}}$.

Spezifisches Gewicht des Gases: 0,98, wenn das der Luft = 1 gesetzt wird.

Wirkungsgrad des Kessels mit Überhitzer und Economiser: 0,75.

Speisewassertemperatur vor dem Economiser: 40°.

Dampfdruck: 12 at Überdruck.

Dampftemperatur am Überhitzer: 320° C.

Dampfverbrauch der Kolbendampfmaschinen: 5,2 kg/PS_iStd.

Mechanischer Wirkungsgrad derselben: 0,91.

Wirkungsgrad der Dynamomaschinen: 0,94.

Zu b): Verbrauch an Gas von 0° C und 760 mm Hg für je eine PS_eStd: 2,4 cbm.

Wirkungsgrad der Dynamos wie zu a).

(Vgl. Bernoulli S. 354, 386, 391, 65, 356, 358, 422. — Hütte 1923, I., S. 405, 499, 505, 747, 449, 482; II., S. 117. — Dubbel I., S. 385, 397, 402, 578, 376, 385; II., S. 107. — Freytag S. 467, 478, 483, 467, 468, 498.)

55. Voreilungswinkel einer einfachen Muschelschiebersteuerung.

Von dem Schieber und Schieberspiegel einer einfachen Muschelschiebersteuerung seien die Hauptmaße gemäß der beigefügten Abbildung 14 gegeben: Gesamte Schieberlänge: 268 mm; Abstand der beiden Einströmungskanal-Mittellinien voneinander: 180 mm; Einströmungskanalweite: 34 mm. Die Exzentrizität ϱ betrage 48 mm. Das Exzenter sei auf der Kurbelwelle drehbar um ihre Achse angeordnet, jedoch so, daß es auf ihr festgestellt werden kann.

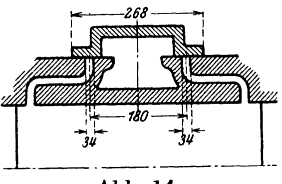


Abb. 14.

1. Wie groß muß der Winkel zwischen Kurbel und Exzentrizität sein, wenn die Steuerung keine Voreinströmung ergeben, aber die Einströmung auch nicht (was völlig unzulässig wäre) erst nach der Totpunktlage beginnen soll?

2. Darf der Winkel größer oder kleiner sein, als unter 1. berechnet?

Bemerkung: Es ist anzunehmen, daß der Schieber in seiner Mittellage symmetrisch zum Schieberspiegel liegt (was bei ausgeführten Maschinen meistens absichtlich nicht genau zutrifft.)

(Vgl. Bernoulli S. 427, 429, 430, 432. — Hütte 1923, II., S. 169, 171, 172. — Dubbel II., S. 111, 112. — Freytag S. 516 bis 519.)

56. Verschwendung durch Leerverbrauch eines Drehstrommotors.

Für einen Drehstrom-Doppelkollektor-Fördermotor für 400 PS und 500 Volt (der nur durch Bürstenverschiebung gesteuert wird) seien folgende Werte bekannt:

η bei vollem Drehmoment und voller Drehzahl: 0,95;
cos φ bei vollem Drehmoment und voller Drehzahl: 0,85;
cos φ bei Stillstand: 0,15;
Stromaufnahme bei Stillstand: 40 % des Stromes bei Vollast.

Wieviel Geld würde man (bei einem Strompreis von 10 Goldpfennigen für die kWStd) bei jeder zweistündigen Förderpause dadurch verschwenden, daß man den Motor nicht vom Netz abschaltete, sondern nur durch entsprechende Stellung der Bürsten stillsetzte?

(Vgl. Bernoulli S. 521, 552, 560. — Hütte 1923, II., S. 966, 981, 1095. — Dubbel II., S. 741, 761, 767. — Freytag S. 1076, 1079. — Kosack S. 17, 39, 46.)

57. Nachrechnung der Zylinderdeckel-Befestigungs-Schrauben eines Dieselmotors.

An einem Dieselmotor von 230 mm Kolbendurchmesser ist der Zylinderdeckel durch 8 Schrauben von 36 mm Schaftdurchmesser befestigt. Die größte Höhe der im Betriebe aufgenommenen Indikatordiagramme betrug 47 mm. Auf der benutzten Indikatorfeder stand „1 kg = 0,6 mm; Kolben 9,06 mm". Der wirklich benutzte Indikatorkolben hatte dagegen einen Durchmesser von 14,35 mm.

1. Auf welchen Höchstwert stieg die durch den Druck im Zylinder verursachte Beanspruchung der Deckelschrauben auf Abreißen (in kg/cm²)?

2. Welcher Höchstwert würde für glatte Stangen und welcher für gut gearbeitete Schrauben etwa zulässig sein?

3. Weshalb muß der Wert nach 1 erheblich unter dem nach 2 liegen?

(Vgl. Bernoulli S. 178, 186. — Hütte 1923, I., S. 604, 897. — Dubbel I., S. 435, 644. — Freytag S. 90, 134.)

58. Spannungsabfall in einem verzweigten Gleichstromnetz.

Aus einer Zweileiter-Gleichstrom-Anlage mit 220 Volt Zentralenspannung und einem Netzbild gemäß der beistehenden Abbildung 15 wird nur an einer einzigen Stelle, nämlich bei G Strom entnommen, und zwar 200 Amp. Wie groß ist die Spannung bei G?

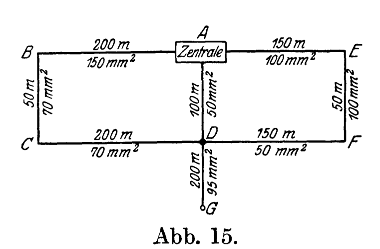


Abb. 15.

Bemerkung: Die Leitungen bestehen aus Kupfer. Die eingetragenen Längen sind Streckenlängen, also Längen eines Poles; die eingetragenen Querschnitte beziehen sich ebenfalls auf einen Pol.

(Vgl. Bernoulli S. 520, 523. — Hütte 1923, II., S. 971, 1154, 972, 1155. — Dubbel II., S. 753, 843. — Freytag S. 1065, 1066. — Kosack S. 11, 5, 273, 6.)

59. Bestimmung der Kesselzahl und der Rostgröße für eine Dampfkesselanlage.

Für eine große geplante Fabrik sei der größte gesamte stündliche Dampfverbrauch auf 40000 kg veranschlagt. Als Einheitstyp für die Kesselanlage seien Wasserrohrkessel von je 250 qm Heizfläche vorgesehen, und es soll stets mindestens $^1/_4$ der vorhandenen Kessel als Reserve oder für Revision, Reinigung oder dgl. außer Betrieb sein. Das Brennmaterial seien gute Braunkohlenbriketts, die gut ausgenutzt werden sollen.

Es ist die zu beschaffende Anzahl von Kesseln und die erforderliche Rostfläche jedes Kessels zu bestimmen.

(Vgl. Bernoulli S. 399. — Hütte 1923, II., S. 38, 18, 39. — Dubbel II., S. 3, 4, 5. — Freytag S. 633, 634.)

60. Bestimmung der Wasserstromstärke eines Grabens.

Die durch einen Graben fließende Wasserstromstärke (in cbm/Stde) soll bestimmt werden. Auf einer Strecke des Grabens, die aus anderen Gründen sauber in Beton ausgeführt war, wurde die Wassergeschwindigkeit mittels einer schwimmenden Flasche und einer Stoppuhr wiederholt gemessen, und zwar betrug die zur Zurücklegung einer Strecke von 45,5 m erforderliche Zeit im Mittel 87,4 Sek. Das rechteckige Grabenprofil hatte auf dieser Strecke eine Breite von 118 cm; die Wassertiefe betrug 62 cm.

(Vgl. Bernoulli S. 279, 276.)

61. Bestellung eines Drehstrom-Transformators.

Es ist ein Bestelltelegramm aufzusetzen für einen Drehstrom-Transformator.

Der Transformator soll angeschlossen werden an ein Netz von 5000 Volt und 100 Polwechseln pro Sekunde. Er soll speisen:

a) 1200 Glühlampen (Metalldraht) von je 50 HK, 220 Volt; b) 20 Glühlampen (Metalldraht) von je 2000 HK, 220 Volt; c) 4 Drehstrommotoren von 75 bzw 20 bzw 50 bzw 10 PS, 220 Volt. Die Werte des Wirkungsgrades und des Leistungsfaktors sind passend zu schätzen.

(Vgl. Bernoulli S. 560, 540, 521, 555, 554. — Hütte 1923, II., S. 949, 992, 966, 1095, 981, 984, 1086. — Dubbel II., S. 829, 792, 741, 815, 767, 761, 825. — Freytag S. 1132, 1085, 1098, 1108, 1079. — Kosack S. 239, 87, 102, 17, 119, 173, 46, 133, 156.)

62. Vermehrung der Leistungsfähigkeit einer Transmissionswelle durch Erhöhung der Drehzahl.

In einer Fabrik sind an die Haupt-Transmissionswelle, die einen Durchmesser von 95 mm hat und bisher mit 60 Umdr. pro Min lief, mit der Zeit immer mehr Arbeitsmaschinen angehängt worden und weitere Vermehrung steht bevor, so daß die Wellenstärke nicht mehr ausreicht. Nach der bevorstehenden Erweiterung wird die gesamte von der Welle zu übertragende Leistung 50 PS betragen. Die Betriebsleitung hat sich daher entschlossen, anstatt die Welle gegen eine stärkere zu ersetzen, lieber ihre Umdrehungsgeschwindigkeit zu erhöhen und die Riemenscheiben auszuwechseln.

Wie weit muß die Umdrehungszahl mindestens erhöht werden, damit die Welle sowohl in bezug auf Verdrehungsbeanspruchung, als auch in bezug auf den Verdrehungswinkel ausreicht?

(Vgl. Bernoulli S. 205, 206. — Hütte 1923, I., S. 1045, 1046. — Dubbel I., S. 659, 660. — Freytag S. 243, 244.)

63. Isolationsmessung.

In einer Haus-Installation nach dem Gleichstrom-Dreileitersystem mit isoliertem Mittelleiter im Anschluß an ein Leitungsnetz mit geerdetem Mittelleiter wurde die Isolation eines Zweileiterabzweiges (mit Glühlampen) nach dem beistehenden Schaltbild (Abbildung 16) gemessen.

Im Betriebe war *a* mit *b*, *c* mit *d* verbunden, während das Voltmeter fehlte. Bei der ersten Messung, die durch das Schaltbild

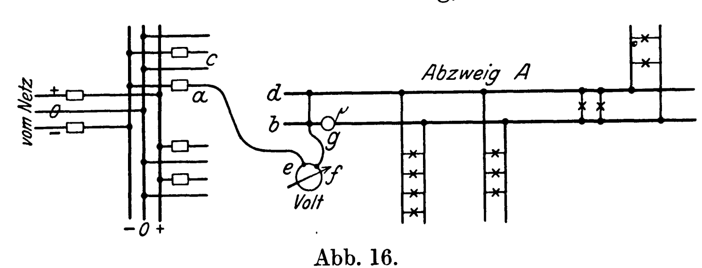


Abb. 16.

dargestellt wird, waren *d* und *b* miteinander verbunden, während der Spannungsmesser zwischen *a* und *b* eingeschaltet wurde. Das Instrument zeigte bei dieser Schaltung 34,4°. Nun wurde der Instrumentenpol *f* von *b* und *d* getrennt und mit *c* verbunden. Dabei ergab sich am Voltmeter ein Ausschlag von 112,3°. Das Instrument trug die Aufschrift: „1° = 1 Volt“ und hatte einen Eigenwiderstand von 100000 Ohm.

1. Wie groß ist der Isolationswiderstand des Abzweiges A gegen Erde?

2. Müssen bei der ersten Messung der Schalter e geschlossen und die Glühlampen eingeschraubt sein?

3. Ist das Instrument bei dieser Messung gefährdet?

4. Wie große Isolationswiderstände kann man mit dem Instrument in dieser Anlage mit einer Fehlergrenze von $\pm 10\%$ messen, wenn der Ablese- und Instrumentenfehler höchstens $\pm 0,2$ Skalenteile beträgt?

(Vgl. Dubbel II., S. 777, 778. — Kosack S. 292 bis 295, 61, 206.)

64. Entwurf der Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Diagramme einer Schacht-Förderanlage.

Die Teufe betrage 625 m, die Nutzlast pro Zug 2000 kg, die Höchstgeschwindigkeit 15 m/sek, die Sturzpause 15 Sekunden.

Verlangt werde eine Förderung von 100 t/Std.

Gesucht wird die Beschleunigung p und die Verzögerung z (wenn $z = 1,5\ p$ sein soll), ferner die Diagramme für v, p und z mit der Zeit als Abszisse; endlich ist festzustellen, bei welchen Stellungen des Förderkorbes die Beschleunigung enden und wo die Verzögerung beginnen muß.

(Vgl. Bernoulli S. 95, 96, 97. — Hütte 1923, II., S. 1224, 513. — Dubbel I., S. 228, 229, 230. — Freytag S. 46, 47.)

65. Berechnung eines Riemens.

Ein Elektromotor für 100 PS und 470 Umdr. pro Min soll mittels eines einfachen Riemens eine Transmission antreiben. Die Riemenscheibe am Motor hat einen Durchmesser von 500 mm. Der Riemen ist zu berechnen.

(Vgl. Bernoulli S. 231, 232. — Hütte 1923, I., S. 1140, 1141. — Dubbel I., S. 766, 768. — Freytag S. 211, 212.)

66. Konkurrenzfähigkeit von Kupfer und Aluminium.

Wie muß sich der Kilopreis des Aluminiums zu dem des Kupfers verhalten, damit eine Aluminiumleitung und eine Kupferleitung bei gleicher Länge und gleichem Widerstande gleich teuer sind?

Gegeben seien die folgenden Ziffern:

Spez Widerstand: $\begin{cases} \text{Cu } 0,0175 \\ \text{Al } 0,030. \end{cases}$

Spez Gewicht: $\begin{cases} \text{Cu } 8,9 \\ \text{Al } 2,6. \end{cases}$

(Vgl. Kosack S. 5, 6. — Bernoulli S. 520. — Hütte 1923, II., S. 971, 972. — Dubbel II., S. 753. — Freytag S. 1066.)

67. Untersuchung eines Dieselmotors auf Einhaltung der garantierten Leistung mittels Bremszaumes.

Ein Dieselmotor soll mittels eines Pronyschen Bremszaumes in der Anordnung der beigefügten Abbildung 17 untersucht werden. Festgestellt soll dabei lediglich werden, ob der Motor die vom Lieferanten versprochene Leistung von 40 PS wirklich hergibt. Seine Drehzahl beträgt $n = 180$.

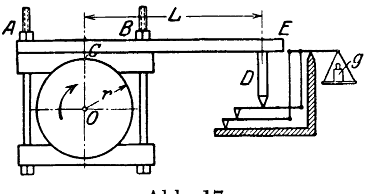


Abb. 17.

Vor längerer Zeit ist mit dem Bremszaum folgende Messung vorgenommen worden: Die Dezimalwage wurde entfernt, die Muttern A und B wurden stark gelockert, der Zaum wurde von der Bremsscheibe entfernt und mit einem Punkt C, der beim Bremsen genau senkrecht über dem Mittelpunkt O der Welle liegt, auf eine Schneide gesetzt. Am äußersten rechten Ende des Bremsbalkens bei E wurde ein Nagel eingeschlagen und es wurde der horizontal gestellte Bremsbalken, mit dem die Stütze D verbunden blieb, mittels eines an diesem Nagel befestigten lotrechten Bindfadens an eine Federwage gehängt. An der Federwage wurde abgelesen 12,5 kg. Ferner wurden ermittelt: die Länge L zu 2,500 m, die Länge vom linken Pfeilende der Länge L bis zum Bindfaden zu 3,020 m, der Radius r zu 0,75 m.

Wieviel kg müssen auf die Wage gelegt werden, um festzustellen, ob der Motor die Garantie erfüllt? (Eine Austarierung des Eigengewichtes des Zaumes soll nicht stattfinden.)

(Vgl. Bernoulli S. 131, 132, 80, 81, 94. — Hütte 1923, II., S. 381; I., S. 185, 186, 187, 228, 257. — Freytag S. 835, 49, 52, 53, 56, 57. — Dubbel I., S. 234, 256, 257, 291, 293.)

68. Bestellung einer Akkumulatorenbatterie.

Für eine Zweileiter-Gleichstrom-Anlage soll telegraphisch eine Akkumulatorenbatterie bestellt werden, die 600 Glühlampen (Metallfaden) von je 50 Kerzen und 220 Volt, 16 Bogenlampen von je 6 Amp, endlich 2 Motoren von 3 und 2 PS 5 Stunden lang speisen kann. Das Bestelltelegramm ist in möglichst knapper Form aufzusetzen.

Bemerkung: Der höchste Spannungsverlust im Leitungsgesetz betrage 10 %. Die Batterie soll einen Doppelzellenschalter erhalten (der nicht mit zu bestellen ist) und soll mittels des Entladehebels dauernd, also auch während der Ladung, mit dem Netz verbunden bleiben.

(Vgl. Bernoulli S. 568, 567, 570, 572, 540, 521. — Hütte 1923, II., S. 1110, 1111, 1136, 1115, 1113, 989, 1116, 949, 953, 992, 966, 990. — Dubbel II., S. 834, 783, 784, 829, 830, 741. — Freytag S. 1121, 1083, 1132, 1133, 1098. — Kosack S. 223 bis 225, 222, 224, 225, 239, 246, 119, 17.)

69. Berechnung einer Welle auf Biegung.

Eine schmiedeeiserne Welle von 90 mm Durchmesser trägt eine Riemenscheibe. Der Zug im strafferen Trum beträgt 520 kg, der im schlafferen Trum 260 kg. Der Umspannungswinkel ist 180^{0}. Beide Riemen laufen horizontal.

Das Gewicht der Riemenscheibe beträgt 350 kg; das Eigengewicht der Welle ist zu vernachlässigen.

Die Welle ist nur auf Biegung zu berechnen; die Biegungsbeanspruchung soll 600 kg/cm² betragen.

Wieweit dürfen die beiden der Riemenscheibe benachbarten Lager der Welle höchstens voneinander entfernt sein, wenn die Scheibe in der Mitte zwischen den beiden Lagern liegen soll?

(Vgl. Bernoulli S. 75, 205, 79, 80, 143, 144. — Hütte 1923, I., S. 185, 248, 255, 628, 630, 647. — Dubbel I., S. 283, 659, 293, 291, 456, 480. — Freytag S. 53, 242, 63, 96, 99.)

70. Berechnung der Heizfläche eines Speisewasser-Vorwärmers (Economiser).

Aus einer Dampfkesselanlage strömen stündlich 7600 kg Rauchgase von 320^{0} C in den Kamin. Um von der darin enthaltenen Wärmemenge noch einen Teil auszunützen, soll nachträglich in den Weg der Rauchgase noch ein Kesselspeisewasser-Vorwärmer (Economiser) eingebaut werden, der aus gußeisernen Rohren besteht und in dem die Rauchgase und das Speisewasser nach dem Gegenstromprinzip aneinander vorbeiströmen.

Die Rauchgase sollen nur bis auf eine Temperatur von 180^{0} C abgekühlt werden, damit der Kamin noch gut zieht und damit der Economiser nicht zu teuer wird. Das Speisewasser soll in den Economiser mit 20^{0} C eintreten und ihn mit 130^{0} C verlassen.

1. Wieviel Wasser kann pro Stunde angewärmt werden?

2. Wieviel m² Heizfläche muß der Economiser haben, wenn der Wärmedurchgangs-Koeffizient k bei Anwendung von automatischen Kratzern $= 15 \frac{\text{WE}}{\text{qm} \cdot \text{Std} \cdot {}^{0}\text{C}}$ ist[1])?

(Vgl. Bernoulli S. 409, 372, 375, 369. — Hütte 1923, II., S. 64; I., S. 468. — Dubbel II., S. 76ff. — Freytag S. 641.)

[1]) Das heißt: 15 Kilokalorien gehen pro Stunde durch je 1 qm der Trennwand, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Rauchgasen und Wasser an der betreffenden Stelle 1^{0} C ist.

71. Bestellung eines Shunts für ein Amperemeter.

An einem Gleichstrommotor von ca 2000 PS für 500 Volt sollen bei voller Belastung Strommessungen gemacht werden. Zur Verfügung steht ein Millivoltmeter für 45 mV mit einem inneren Widerstand von 10 Ohm, dessen Skala 150° hat. Dazu soll ein passender Nebenschlußwiderstand (Shunt) bestellt werden. Dieser soll so bemessen sein, daß erstens die Kombination von Nebenschluß und Instrument zur Messung des höchsten Motorstromes ausreicht, daß zweitens ein so großer Ausschlag am Instrument erzielt wird, als es bei Berücksichtigung der anderen Forderungen möglich ist, und daß drittens je 1° des Zeigerausschlages eine für die Rechnung bequeme Anzahl von Amp bedeutet. Als solche „bequeme" Zahlen sollen nur die folgenden gelten: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 usw.

1. Für die Beschaffung des Nebenschlusses ist ein knappes, aber ausreichendes und eindeutiges Bestelltelegramm aufzusetzen.

2. Wieviel Amp bedeutet 1°?

3. Wie groß wird der Ausschlag bei voller Belastung des Motors etwa werden?

(Vgl. Bernoulli S. 550, 540, 521, 525. — Hütte 1923, II., S. 992, 973, 966, 971, 1094, 1133. — Dubbel II., S. 807, 792, 742, 753, 741, 772. — Freytag S. 1085, 1068, 1098, 1065, 1070. — Kosack S. 119, 102, 17, 14, 5, 11, 47.)

72. Leistungsbedarf einer Pumpe.

Das gesamte in einem Graben fließende Wasser, das bisher einem Teich A zuströmt, soll durch eine Pumpenanlage um 15 m gehoben werden, damit es einem höher liegenden Teiche B zufließen kann. Die Wasserstromstärke des Grabens ist dadurch roh bestimmt worden, daß man auf einer sauber betonierten Strecke des Grabens durch einen Schwimmer (Kork oder Flasche) die Geschwindigkeit des Wassers und mit einem Meterstab das Grabenprofil auf dieser Strecke gemessen hat. Der Schwimmer brauchte für die Strecke von 52 m eine Zeit von 1 Min 15 Sek. Das Grabenprofil entsprach der beistehenden Abbildung 18.

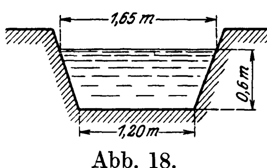


Abb. 18.

Die mittlere Wassergeschwindigkeit mag zu 85% der Schwimmergeschwindigkeit angenommen werden.

Zu bestimmen ist die zum Antrieb der Pumpen erforderliche Gesamtleistung (in PS), wenn der Wirkungsgrad der

Pumpen und Rohrleitungen zusammen zu 70 % angenommen wird.

(Vgl. Bernoulli S. 323. — Hütte 1923, II., S. 678. — Dubbel II., S. 197. — Freytag S. 946.)

73. Messung der Schlüpfung eines Drehstrommotors.

Die Drehzahl eines sechspoligen Drehstrom-Asynchronmotors wurde mittels Stoppuhr und Umlaufzähler gemessen. (Auf Kommando wurde der Umlaufzähler an die Motorwelle gedrückt und gleichzeitig die Stoppuhr angestellt. Bei einem zweiten Kommando wurde er zurückgezogen und die Uhr gestoppt.) Die Uhr stand anfangs auf Null, nachher auf 2 Min 21,4 Sek. Der Umlaufzähler zeigte anfangs 25579, nachher 23437. Die Periodenzahl des Stromes wurde gleichzeitig auf andere Weise gemessen und genau gleich 50 gefunden.

Wieviel Prozent Schlüpfung hatte der Motor bei der Messung?

(Vgl. Kosack S. 132, 157, 166. — Bernoulli S. 556, 561. — Hütte 1923, II., S. 1030, 1051. — Dubbel II., S. 799, 807, 808, 811. — Freytag S. 1101, 1108.)

74. Berechnung der hölzernen Tragmasten einer elektrischen Freileitung.

Eine aus drei Seilen von je 11 mm Durchmesser bestehende elektrische Freileitung (Drehstrom) ist an hölzernen, nicht imprägnierten Masten befestigt, die in Abständen von je 50 m stehen. Die Isolatoren des mittleren Seiles liegen 8 m über Terrain. Die Masten haben eine Länge von 10,5 m, wovon 1,5 m im Erdboden stecken, einen Zopfdurchmesser von 20 cm und einen Fußdurchmesser von 30 cm. Die Masten auf einer schnurgeraden Strecke sollen auf Biegungsfestigkeit für den Fall nachgerechnet werden, daß senkrecht zur Leitung ein Wind weht, der auf je 1 qm einer ebenen senkrecht getroffenen Fläche einen Druck von 125 kg ausübt.

Vertragen die Masten den Winddruck?

Bemerkungen: Bei Körpern mit Kreisquerschnitt, wie etwa Zylindern, ist zur Berechnung des Winddruckes die Fläche nur mit 50 % der zur Windrichtung senkrechten Projektion der wirklich getroffenen Fläche einzusetzen; vgl. Vorschriften und Normen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker 1923, S. 269. Die Beanspruchung von nicht imprägnierten Masten darf höchstens 80 kg/cm betragen; vgl. die zitierten Normen S. 274.

(Vgl. Bernoulli S. 344, 522, 143, 144, 80, 47. — Hütte 1923, I., S. 431, 433, 438, 439, 631, 647, 28, 200. — Dubbel I., S. 456, 480, 448, 298. — Freytag S. 1136, 96, 99, 94, 61. — Vorschr. u. Normen d. Verb. Dtsch. Elektrotechn., 1923, S. 269, 271, 274.)

75. Berechnung eines Hanfseiltriebes.

Die Gesamtleistung einer Dampfmaschine von 300 PS_e, die mit 120 Umdrehungen pro Minute läuft, soll durch mehrere Hanfseile von quadratischem Querschnitt und 45 mm Stärke auf eine Transmission übertragen werden, die 200 Umdr.min machen soll. Die durch je 1 cm^2 des Seilquerschnittes übertragene Kraft soll nach Abzug von 3 als Reserve anzusehenden Seilen 7 kg betragen, die Seilgeschwindigkeit womöglich genau 15 m/sek. Zu bestimmen sind die beiden Seilscheibendurchmesser und die erforderliche Anzahl von Seilen bzw Seilrillen. Ferner ist nachzuprüfen, ob die Seilscheibendurchmesser mit Rücksicht auf die Seilbiegung hinreichend groß sind, wofür bei diesen Quadratseilen etwa das 30fache der Seilstärke genügt. Ferner ist die gesamte zu bestellende Seillänge zu ermitteln, wenn die horizontale Entfernung von Mitte Dampfmaschinenwelle bis Mitte Transmissionswelle 7 m und die Vertikal-Entfernung zwischen denselben Linien 5 m beträgt und wenn für jede Spleißstelle ein Seilverlust von 3 m angenommen wird. Der Gleitverlust ist zu 2 % anzunehmen.

(Vgl. Bernoulli S. 234, 235, 116, 117. — Hütte 1923, I., S. 1151 bis 1154, 186, 187. — Dubbel I., S. 779 bis 782. — Freytag S. 225 bis 232.)

76. Verlust in den Leitungen einer elektrischen Bahn.

Bei einer elektrischen Bahn bestehe die Stromzuleitung (Fahrdraht) aus einem massiven Kupferdraht von 8 mm Durchmesser, das als Stromrückleitung benutzte Gleis aus Eisenschienen mit einem Gewicht von 45 kg pro Meter Schiene (90 kg pro Meter Gleis). Der spezifische Widerstand des Kupfers beträgt $^1/_{57}$, der des Eisens 0,13. Das spezifische Gewicht der Schienen ist zu 7,75 anzunehmen. Die Schienen sind miteinander durch Schweißen verbunden. Die Spannung in der Zentrale (Gleichstrom) beträgt 550 Volt. Es befindet sich nur ein Wagen auf der Strecke, und zwar in einer Entfernung von 1,2 km von der Zentrale. An dieser Stelle hat der Motor wegen einer Steigung seine größte Leistung zu entwickeln, und zwar 70 PS, gemessen an der Motorwelle. Sein Wirkungsgrad beträgt 90 %.

Wie groß ist in diesem Augenblick

a) die Stromstärke,

b) die Spannung am Motor,

c) der Leistungsverlust in der Hin- und Rückleitung zusammen, ausgedrückt in Prozenten der in die Leitung geschickten Leistung?

(Vgl. Bernoulli S. 62, 540, 521, 520, 523, 573. — Hütte 1923, I., S. 742; II., S. 992, 966, 971, 1155, 972, 1187, 1188. — Dubbel I., S. 577; II., S. 741, 753, 843. — Freytag S. 91, 1098, 1066. — Kosack S. 119, 17, 5, 273, 6.)

77. Bestimmung der Leistung und des Wirkungsgrades eines Elektromotors mittels Seilbremse.

Ein Gleichstrommotor wurde mittels einer Seilbremse in der Anordnung der nebenstehenden Abbildung 19 gebremst. Dabei wurde gemessen:

$Q = 90$ kg;
F (Ablesung am Dynamometer) $= 28$ kg;
Durchmesser der Bremsscheibe: 305 mm;
Durchmesser des Hanfseiles 5 mm;
Drehzahl: 790 i d Minute;
Spannung am Motor: 221 Volt;
Strom des Motors: 42,2 Amp.

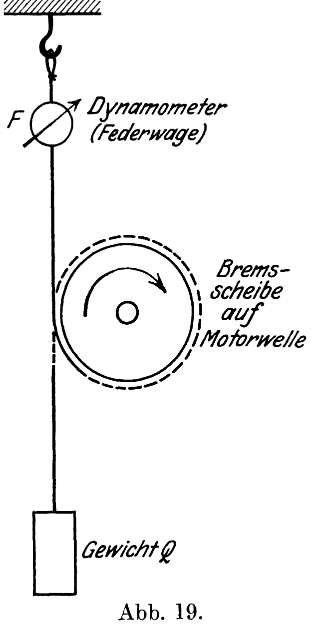


Abb. 19.

Die vertikale Linie und die punktierte Kreislinie bezeichnen die Mittel-Linie des Seiles, während der ausgezogene Kreis den Umfang der Brems-Scheibe darstellt.

Gesucht: 1. die Leistung des Motors während der Bremsung in PS;

2. der Wirkungsgrad des Motors bei dieser Leistung, in $^0/_0$.

(Vgl. Bernoulli S. 131, 132, 80, 81, 94, 521, 540, 105, 112, 116. — Hütte 1923, II., S. 382; I., S. 185, 186, 187, 228, 257; II., S. 992, 966, 1101. — Dubbel I., S. 234, 256, 257, 291, 293; II., S. 741. — Freytag S. 835, 49, 52, 53, 56, 57, 1098. — Kosack S. 17, 209, 210.)

78. Veranschlagung der Tages-Kohlenkosten einer elektrischen Zentrale.

Für die elektrische Zentrale eines Werkes sollen die Kohlenkosten pro Tag festgestellt werden.

Gegeben sind die folgenden Unterlagen: Täglicher Strombedarf, gemessen an der Schaltanlage der Zentrale durch Zähler: 13600 kWStd. Dampfart: Überhitzter Dampf von 12 at Überdruck und 280^0 C. Wirkungsgrad der Kesselanlage einschließlich Überhitzer und Vorwärmer: 75$^0/_0$. Verwendete Kohlensorte:

Braunkohle mit einem (unteren) Heizwert von 5232 WE/kg. Verluste in den Rohrleitungen zwischen Kessel und Dampfmaschine sowie durch den Verbrauch der Speisepumpen: 15 % der Dampferzeugung. Wirkungsgrad der Dynamomaschine: 94 %. Verluste in den Leitungen von Dynamomaschine bis Schaltanlage: 2 %. Mechanischer Wirkungsgrad der Kolbendampfmaschine: 91 %. Dampfverbrauch der Dampfmaschine für je eine indizierte PS-Stunde: 5,4 kg. Temperatur des Kesselspeisewassers vor dem Ekonomiser: 40° C. Kohlenpreis frei Kesselhaus: 14 Goldmark pro Tonne.

(Vgl. Bernoulli S. 540, 521, 422, 386, 391, 367. — Hütte 1923, II., S. 992, 966, 117, 118; I., S. 499, 505, 552. — Dubbel II., S. 741, 107, 109; I., S. 397, 402, 571. — Freytag S. 1098, 498, 478, 483, 631.)

79. Berechnung des Riemenscheiben-Durchmessers für einen Drehstromgenerator.

An einem aus einer Konkursmasse gekauften Drehstromgenerator unbekannter Herkunft mit 10 Polen und mit einem für eine Riemenscheibe bestimmten leeren Wellenstumpf fehlt das Leistungsschild mit den Hauptdaten der Maschine, so daß ihre normale Umdrehungszahl unbekannt ist. Jedoch fand sich unter den zugehörigen Schalttafel-Instrumenten ein Zungen-Frequenzmesser, bei dem die Zunge für 100 Polwechsel pro Sekunde mit einer roten Marke versehen ist. Der Generator soll behufs Erprobung von einer auf einer vorhandenen Transmission sitzenden vorhandenen Riemenscheibe angetrieben werden, die mit 150 Umdrehungen in der Minute läuft und einen Durchmesser von 1600 mm hat.

Wie groß muß die auf der Generatorwelle zu befestigende Riemenscheibe gewählt werden, wenn der Generator durch die Transmission ohne Vorgelege so angetrieben werden soll, daß er voraussichtlich normal arbeitet, und wenn mit einem Riemen-Rutschverlust von 3 % gerechnet wird?

(Vgl. Bernoulli S. 551, 556, 116. — Dubbel II., S. 759, 781; I., S. 762. — Freytag S. 1075, 1101, 210. — Hütte 1923, I., S. 304; II., S. 1134, 979, 1030, 1145. — Kosack S. 37, 132.)

80. Antriebsleistung einer Dynamomaschine.

Eine Dynamomaschine werde durch Riemen von einer Dampfmaschine angetrieben. Die Dynamo speist:

500 Metallfadenlampen von je 50 Kerzen,
60 Bogenlampen von je 8 Amp,
1 Motor von 5 PS,
1 Motor von 30 PS.

Für alle Verluste sind passende Werte anzunehmen. Die Stromart sei Gleichstrom von 220 Volt.

Gesucht: Die erforderliche Leistung der Dampfmaschine in PS.

(Vgl. Bernoulli S. 570 bis 572, 540, 550, 118, 521. — Hütte 1923, II., S. 948, 949, 950, 952, 992, 966. — Dubbel II., S. 829, 830, 741. — Freytag S. 1132, 1133, 1098. — Kosack S. 239, 246, 119, 17, 102.)

81. Wirkungsgrad einer Zentrifugalpumpe mit Elektromotor.

Eine mit einem Gleichstrom-Elektromotor direkt gekuppelte Schleuderpumpe hebt Wasser aus einem Teich auf eine Aufbereitungsanlage. Ein am Saugrohr unmittelbar an der Pumpe und in der Höhenlage der Achse angebrachtes Manometer zeigte 0,24 at Unterdruck, ein ebenso am Druckrohr angebrachtes Manometer zeigte 1,27 at Überdruck.

Die Wasserstromstärke wurde dadurch bestimmt, daß das gehobene Wasser an einer Stelle, wo sich der Wasserspiegel wieder beruhigt hatte, aus einem kleinen eisernen Behälter durch drei gut abgerundete Düsen (eine kleine und zwei große) mit horizontaler Achse frei ausströmte. Die Achsen der drei Düsen lagen genau gleich hoch. Der Durchmesser der kleinen Düse betrug 50 mm, der der beiden großen Düsen je 160 mm. Die aus den großen Düsen austretenden Strahlen liefen ungemessen weiter in die Aufbereitung. Die aus der kleinen Düse ausfließende Wassermenge konnte dagegen in einem genau prismatischen Betonbehälter von 1,57 m Breite, 2,38 m Länge und 1,69 m Höhe aufgefangen werden. Dabei ergab sich, daß sie zur Füllung des vorher völlig leeren Betonbehälters bis zum Überlaufen 11 Min 42 Sek brauchte.

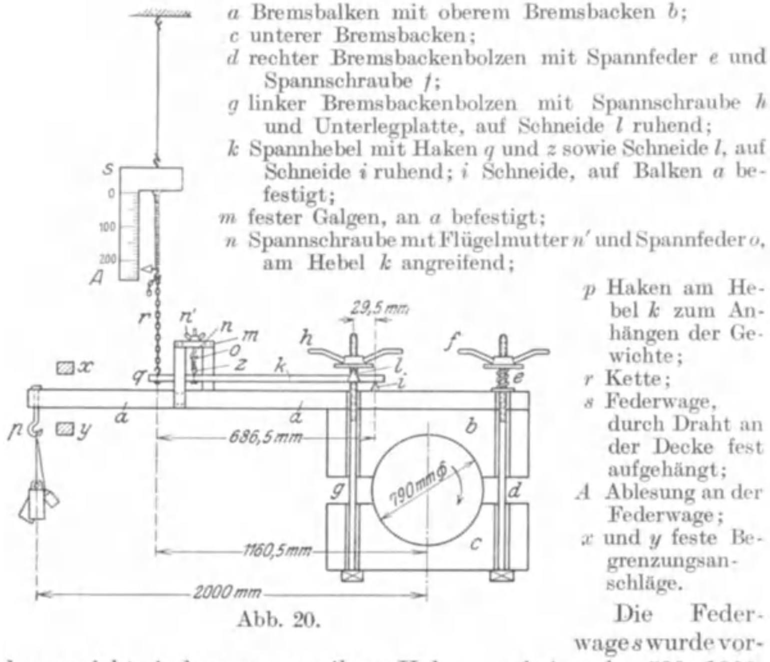
Der Motor nahm 88,5 Amp bei 440 Volt auf. Alle gemessenen Werte blieben während der gesamten hinreichend langen Versuchsdauer unverändert; ebenso änderte sich der Wasserspiegel im eisernen Behälter nicht.

Wie groß ist der Wirkungsgrad von Pumpe und Motor zusammen?

(Vgl. Bernoulli S. 336, 273, 540, 521. — Hütte 1923, II., S. 672; I., S. 341; II., S. 992, 966. — Dubbel II., S. 196, 197; I., S. 361; II., S. 741. — Freytag S. 981, 756, 1098. — Kosack S. 119, 17.)

82. Abbremsung eines Dieselmotors durch eine Brauersche Bremse (selbstregelndes Bremsdynamometer).

Mittels einer Brauerschen Bremse, deren Anordnung und Hauptmaße durch die beistehende Skizze Abb. 20 gegeben sind, wurde ein Einzylinder-Viertakt-Dieselmotor untersucht, der für 275 Umdr/min und 20 PS Nutzleistung gebaut ist.



a Bremsbalken mit oberem Bremsbacken *b*;
c unterer Bremsbacken;
d rechter Bremsbackenbolzen mit Spannfeder *e* und Spannschraube *f*;
g linker Bremsbackenbolzen mit Spannschraube *h* und Unterlegplatte, auf Schneide *l* ruhend;
k Spannhebel mit Haken *q* und *z* sowie Schneide *l*, auf Schneide *i* ruhend; *i* Schneide, auf Balken *a* befestigt;
m fester Galgen, an *a* befestigt;
n Spannschraube mit Flügelmutter *n'* und Spannfeder *o*, am Hebel *k* angreifend;
p Haken am Hebel *k* zum Anhängen der Gewichte;
r Kette;
s Federwage, durch Draht an der Decke fest aufgehängt;
A Ablesung an der Federwage;
x und *y* feste Begrenzungsanschläge.

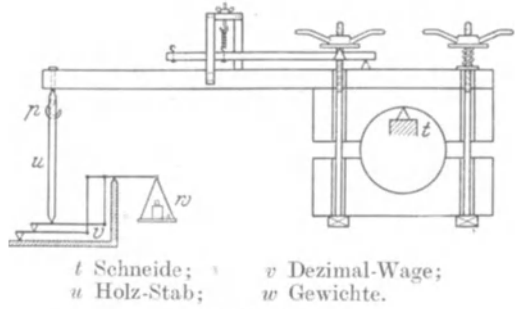
Abb. 20.

Die Federwage *s* wurde vorher geeicht, indem man an ihren Haken nacheinander 500, 1000, 1500 g hängte und dabei an der Skala folgende Werte ablas:

Gewicht am Haken:	0	500 g	1000 g	1500 g
Ablesung:	8 mm	52 mm	92 mm	129 mm.

Die Kette *r* wog 75 g.

Die Bremse wurde ferner zunächst auf eine Schneide *t* gesetzt, gemäß der Skizze Abb. 21, wagerecht gestellt, und unter Zwischenfügung eines senkrecht gestellten zugespitzten Stabes *u*, der genau beim Haken *p* angriff, auf eine Dezimalwage *v* gestützt, so daß sie, im übrigen völlig frei, auf Schneide *t* und Stab *u* schwebte.



t Schneide; *v* Dezimal-Wage;
u Holz-Stab; *w* Gewichte.

Abb. 21.

Die Wage wurde durch Gewichte w zum Einspielen gebracht, und zwar ergab sich $w = 592$ g.

Der Stab u wurde besonders gewogen und sein Gewicht zu 370 g gefunden.

Darauf wurden die Schneide t und die Wage v entfernt und die Bremse auf die (rechts herum laufende ↻) Bremsscheibe des Dieselmotors von 79 cm Durchmesser gesetzt. An den Haken p wurden mit Bindfäden (deren Gewicht vernachlässigt werden durfte) 15 kg gehängt, Haken q mit dem Haken der Federwage s durch die Kette r verbunden, der Motor in Betrieb gesetzt und die Muttern f, h und n' so lange angezogen, bis der Balken a mit den Gewichten horizontal und frei schwebte, ohne die Anschläge x und y zu berühren.

An der Federwage wurde jetzt während der Messung im Mittel abgelesen 32 mm.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit wurde dadurch ermittelt, daß ein Beobachter mit einer Stoppuhr in einer Hand die andere Hand auf den Einlaßventilhebel des Viertaktmotors legte und die ruckweisen Bewegungen des Hebels zählte. Beim Zählen „Null" ließ er die Stoppuhr loslaufen; bei der Zahl 500 hielt er die Uhr an und las von ihr ab: 3 Min 39,4 Sek.

Die Uhr war vorher geeicht und es war gefunden, daß ihre Angaben einer Korrektur von $+ 0{,}91\,^0/_0$ bedürfen.

1. Wieviel Brems-PS leistete der Motor während der Messung?

2. Wieviel PS entsprechen einem am Haken p hängenden kg, wenn die Federwage s nicht berücksichtigt wird und die minutliche Umdrehungszahl 275 ist? Wieviel PS beträgt die Bremsleistung bei unbelastetem Haken p und den vorstehenden Annahmen? Um wieviel sind die vorstehenden Werte mit Rücksicht auf die Ablesung A an der Federwage s zu korrigieren?

3. Wieviel kg müssen bei p angehängt werden, um den Motor bei $20\,^0/_0$ Überlastung zu bremsen, wenn angenommen wird, daß dabei die Tourenzahl um $8\,^0/_0$ unter die normale sinkt und daß die Federwage s auf den Haken q keine Kraft ausübt.

(Vgl. Bernoulli S. 131, 132, 80, 81, 94. — Hütte 1923, II., S. 382; I., S. 185, 186, 187, 228, 257. — Freytag S. 836, 49, 52, 53, 56, 57. — Dubbel I., S. 234, 256, 257, 291, 293.)

83. Bestimmung der Phasenverschiebung eines Drehstrommotors.

An einem im Betrieb befindlichen Drehstrommotor ist mit Präzisionsinstrumenten gemessen sowohl der Strom in einer Zuleitung, als auch die Spannung zwischen zwei Zuleitungen, als auch die zugeführte Leistung. Es mag angenommen werden,

daß die Stromstärke in allen drei Leitungen gleich groß ist, und daß alle drei Phasen dieselbe Spannung gegen einander haben.

Gesucht wird der Leistungsfaktor des Motors bei der vorliegenden Belastung.

Die Stromstärke ist gemessen mit einem Präzisions-Amperemeter mit 100 Skalenteilen und der Aufschrift „5 Ampere" unter Zwischenschaltung eines Stromwandlers mit der Aufschrift „400/5 Ampere". Abgelesen wurden 62,4 Skalenteile.

Die Spannung ist gemessen mit einem Präzisions-Voltmeter mit 130 Skalenteilen und der Aufschrift „130 Volt" unter Einschaltung eines Spannungswandlers mit der Aufschrift „2000/110 Volt". Abgelesen wurden 112,3 Skalenteile.

Die Leistung wurde gemessen mit zwei Präzisions-Wattmetern nach der „Zwei-Wattmeter-Methode" (Aron-Schaltung). Die Wattmeter hatten 150 Skalenteile und trugen die Aufschrift „5 Ampere". Die Stromspule jedes Wattmeters war mit der betreffenden Drehstromleitung durch einen Stromwandler von 400/5 Amp verbunden. Für den Spannungskreis der Wattmeter wurden die Klemmen benutzt mit der Aufschrift: „30 Volt, 1000 Ohm, $1^0 = 1$ Watt". Vorgeschaltet war dem Spannungskreise jedes Wattmeters ein Vorschaltwiderstand, dessen benutzte Klemme die Aufschrift trug: „120 Volt, 3000 Ohm, $C = 4$". An die Drehstromleitungen war der Spannungskreis jedes Wattmeters nebst Vorschaltwiderstand angeschlossen unter Vermittlung je eines Einphasen-Spannungswandlers für 2000/110 Volt. Abgelesen wurde an dem einen Wattmeter 76,2 Skalenteile, am anderen Wattmeter 9,6 Skalenteile. Beide Wattmeter waren völlig symmetrisch geschaltet und auch innerlich kongruent. An beiden Wattmetern schlug der Zeiger nach rechts aus[1]).

Die Angaben der Instrumente mögen ohne Korrektur als richtig angenommen werden.

(Vgl. Bernoulli S. 560. — Hütte 1923, II., S. 1132, 1097, 1095. — Dubbel II., S. 779, 772, 273, 780, 767. — Freytag S. 1079, 1080. — Kosack S. 151, 64, 46.)

84. Bestimmung des Profiles für einen Fabrik-Wasserkanal.

Einer Fabrik soll ihr großer Wasserbedarf von 180 cbm/min aus einem Fluß durch einen von ihr anzulegenden offenen Graben zugeleitet werden. Das verfügbare Gefälle von der Entnahmestelle bis zur Fabrik beträgt 1,10 m. Der Kanal soll aus Beton

[1]) Die Wattmeter besaßen keine eingebauten Umschalter für den Spannungskreis. Andernfalls müßte hier noch angegeben sein, daß auch diese Umschalter bei beiden Instrumenten in derselben Lage standen.

mit glatten Wänden hergestellt werden; seine Seitenwände sollen eine Böschung 1:0,5 erhalten (vgl. die Abb. 22); die Sohlenbreite *b* soll das 1,23fache der Wassertiefe *t* sein (weil nach Frank dies Verhältnis bei diesem Böschungswinkel die günstigste Querschnittsform gibt). Die Länge der Kanaltrace beträgt 2,300 km; das Gefälle des Kanals soll überall gleichmäßig sein.

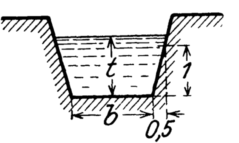


Abb. 22.

Die Kanaloberkante soll um 40 cm höher liegen als der Wasserspiegel. Zu berechnen sind die Abmessungen des Kanalprofils.

Bemerkung: Etwa auftretende Gleichungen höheren Grades sind durch Probieren zu lösen.

(Vgl. Bernoulli S. 276. — Hütte 1923, I., S. 387. — Freytag S. 759, 760.)

85. Berechnung einer Kesselanlage mit Kamin.

Für den Betrieb einer Dampfturbodynamo von 2500 kW Leistung soll eine Kesselanlage berechnet, d. h. Zahl und Größe der erforderlichen Kessel sowie ihre Rostfläche bestimmt werden. Der Dampf soll an der Turbine einen Überdruck von 12 at und eine Temperatur von 350° C haben. Das Vakuum am Austrittsstutzen der Turbine beträgt gemäß der Garantie des Lieferanten der Kondensationsanlage 93 %. Bezüglich des Dampfverbrauches der Turbine ist bekannt, daß sie bei Sattdampf von 12 at Überdruck und einem Vakuum von 85 % 7 kg Dampf pro kWStd erfordert. Die Kessel sollen kombinierte Kessel (Flammrohrkessel mit darüber liegendem Heizrohrkessel) sein und eine gute Ausnutzung der Kohle ergeben; sie sollen nicht größer sein als je 200 qm. Als Heizmaterial ist gute westfälische Steinkohle von mehr als 7000 WE/kg anzunehmen.

Außer der Kesselanlage ist auch der zugehörige gemauerte Kamin für natürlichen Zug nach Höhe und Mündungsweite zu bestimmen.

(Vgl. Bernoulli S. 476, 388, 399, 402, 370, 369. — Hütte 1923, I., S. 499, 547; II., S. 270, 7, 38, 11, 39, 51, 40, 52. — Dubbel II., S. 286, I., S. 397; II., S. 4, 54, 5, 3, 40, 41, 42; I., S. 562 bis 564. — Freytag S. 479, 634, 658, 633, 635, 632, 636.)

86. Eichung eines Gleichstrom-Wattstundenzählers (Motortype).

Ich belaste den Zähler mit einem konstanten Strom und messe diesen und die Spannung mit zuverlässigen Instrumenten. Durch das Schauloch beobachte ich den Fleck an der Bremsscheibe des Zählers und messe mit der Stoppuhr die Zeit, die die Scheibe für

genau 160 Umdrehungen braucht. Auf dem Zähler steht geschrieben: „35 Amp, 110 Volt, 900 Umdr. p kWStd."

Abgelesen sei: am Amperemeter 20,4 Amp;
am Voltmeter 112,5 Volt;
an der Stoppuhr 4 Min 5,6 Sek.

Welchen prozentualen Fehler hat der Zähler bei dieser Belastung?

(Vgl. Kosack S. 67. — Bernoulli S. 575. — Hütte 1923, II. S. 1132. — Dubbel II., S. 774, 775. — Freytag S. 1124.)

87. Jahres-Brennstoffkosten eines Dieselmotors.

In einem Handbuch[1]) findet sich die in Abb. 23 wiedergegebene Kurve für den Brennstoffverbrauch von Dieselmotoren (in Kilokalorien pro PS_e-Std), abhängig von der Belastung (von Vollast bis Halblast).

An der Originalkurve habe ich die Ordinate von 0 bis 5000 Kalorien gemessen zu 37,5 mm, die Ordinate der Kurve bei halber Belastung zu 17 mm, die Ordinate bei voller Belastung zu 13,5 mm. Es soll angenommen werden, daß die Kurve eine gleichseitige Hyperbel mit der vertikalen Koordinaten-Null-Achse und einer horizontalen Linie als Asymptoten ist, was tatsächlich bei Dieselmotoren nahezu zutrifft. (Daß die Kurve auf den ersten Blick nicht so aussieht, liegt daran, daß sie nach links nur bis zur Halbbelastung gezogen ist, und daß die Ordinate mit dem Kalorienmaßstab nicht im Abszissen-Nullpunkt errichtet ist. Ersteres hat seinen Grund vermutlich darin, daß die Fabrikanten der Dieselmotoren nicht gern Brennstoffverbrauchsziffern pro PS_e-Std für sehr geringe Belastung angeben, weil diese Zahlen naturgemäß sehr hoch werden müssen und bei Laien leicht einen schlechten Eindruck machen; letzteres geschah vermutlich, um Papier zu sparen.)

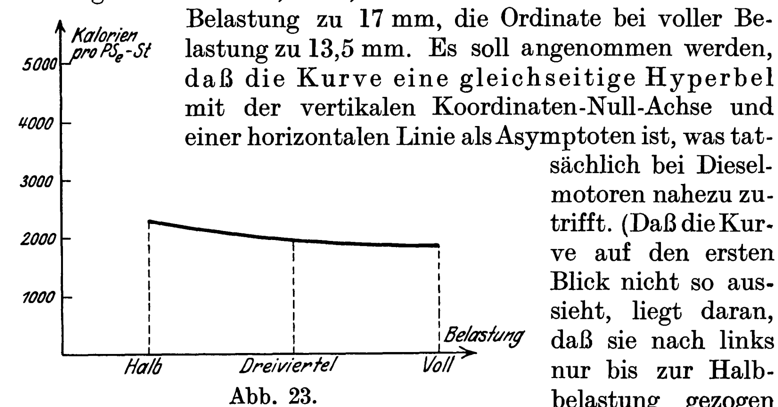


Abb. 23.

Unter Zugrundelegung dieser Kurve sollen die Kosten des Brennstoffverbrauches eines Dieselmotors in einem ganzen Jahre

[1]) Bernoulli S. 501. — Vgl. Hütte 1923, II., S. 303, 313. — Dubbel II., S. 148.

berechnet werden, wenn noch folgende Angaben vorliegen: Der Dieselmotor habe eine Normalleistungsfähigkeit von 100 PS_e. Er sei an jedem der 300 Arbeitstage des Jahres belastet wie folgt:

5	Stunden	lang	mit	100 PS_e
4	„	„	„	50 „
4	„	„	„	25 „
5	„	„	leerlaufend	
6	„	„	stillstehend.	
zus. 24	Stunden.			

Der Betriebsrennstoff sei Gasöl von 9500 Kalorien pro kg, sein Preis sei 120 Goldmark pro Tonne.

1. Wie groß sind die Brennstoffkosten pro Jahr?

2. Wie groß sind die Brennstoffkosten pro PS_e-Std bei Vollast, Dreiviertel-Last, Halb-Last, Einviertel-Last, Leerlauf.

3. Wie groß sind die Brennstoffkosten pro Stunde bei Vollast, Dreiviertel-Last, Halb-Last, Einviertel-Last, Leerlauf.

Anleitung: Es empfiehlt sich, zunächst eine Brennstoff-Verbrauchskurve zu konstruieren, die die Belastung in PS_e als Abszissen hat, aber als Ordinaten nicht Kalorien pro PS_e-Std, sondern Kalorien pro Stunde.

88. Bemessung eines Drehstrom-Transformators.

Ein Drehstrom-Transformator von 2000/110 Volt soll speisen:

300 Glühlampen (Metallfaden) von je 25 Kerzen,
1 Motor von 20 PS,
18 Bogenlampen von je 8 Amp.

Gesucht: 1. die erforderliche Größe des Transformators (in kVA);

2. die sekundäre und die primäre Stromstärke des Transformators bei der angegebenen Belastung.

Bemerkung: Der Wert von cos φ ist für die Bogenlampen allein zu schätzen auf 0,95, für den Gesamtverbrauch auf 0,85. Der Leitungsverlust sei zu vernachlässigen.

(Vgl. Bernoulli S. 570 bis 572, 560, 540, 521, 555, 554. — Hütte 1923, II., S. 949, 992, 953, 966, 1095, 981. — Dubbel II., S. 829, 792, 830, 741, 815, 767, 761. — Freytag S. 1132, 1085, 1133, 1098, 1108, 1079. — Kosack S. 239, 87, 102, 246, 17, 119, 173, 46, 133.)

89. Bestimmung der mit einer gegebenen Motorleistung und gegebenen Rohrleitung zu bewältigenden Wassermenge.

Für die Wasserhaltung einer Braunkohlengrube soll ermittelt werden, wieviel Wasser pro Stunde unter den folgenden gegebenen Verhältnissen bewältigt werden kann.

Verfügbar ist ein Elektromotor von 200 PS, der eine passend zu wählende Zentrifugalpumpe antreiben soll, ferner eine Druckrohrleitung von 800 m Gesamtlänge und 300 mm lichter Weite. Die durch Nivellement gemessene Förderhöhe, gerechnet vom Saugwasserspiegel bis zum Ausguß, beträgt 34 m. (Die Rohrleitung ist viel länger, weil das Wasser auf eine erhebliche Entfernung fortgeschafft werden muß, damit es nicht wieder in die Grube zurückläuft.) Der Wirkungsgrad der Zentrifugalpumpe ist zu 79 % anzunehmen.

a) Vorfrage: Wieviel Wasser könnte bewältigt werden, wenn in den Rohrleitungen keine Reibungsverluste aufträten?

b) Hauptfrage: Wie sinkt die Ziffer unter a) bei Berücksichtigung der Rohrreibung? (Die Reibungsverluste in der Saugleitung und durch die Krümmungen sowie der Verlust durch die Austrittsgeschwindigkeit sind zu vernachlässigen. Der Rohrreibungs-Druckverlust h in Meter Wassersäule beträgt für neue glatte Rohrleitungen (nach Pfarr): $h_W = 0{,}0018\, L \frac{Q^2}{D^5}$, wobei L die Rohrleitungslänge in m, Q die Wasserstromstärke in cbm/sek, D der lichte Rohrdurchmesser in m ist.

(Sollte sich eine Gleichung höheren Grades ergeben, so ist sie durch Probieren zu lösen, wobei es genügt, Q mit einem Fehler von $\pm$ 10 Liter pro Sekunde zu bestimmen.)

(Vgl. Bernoulli S. 283, 336. — Hütte 1923, I., S. 362, 363, 367; II., S. 672. — Dubbel II., S. 362; I., S. 364 bis 368. — Freytag S. 981, 760.)

90. Beleuchtung einer bestimmten Fußbodenstelle durch Bogenlampen.

Ein Platz wird durch 4 Bogenlampen (Gleichstrom, 15 Amp, Opalglasglocke, Reinkohlen) [alternativ: Albakohlen[1])] beleuchtet, die in den Ecken eines Quadrates von 20 m Seitenlänge angebracht sind, und zwar 10 m über dem Erdboden. Für die Lampen seien folgende Lichtverteilungskurven bekannt, wobei α die Abweichung des Strahles von der Richtung senkrecht nach unten bedeutet, J die Intensität der Lampe in HK in dieser Richtung; und zwar J_r für Reinkohle, J_A für Albakohle:

α	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
J_r	400	450	600	1200	1600	1300	1200	900	700	500 HK.
J_A	2300	2200	2400	3000	3700	3800	3700	3300	2700	2000 HK.

[1]) Eine bestimmte Art von Effektkohlen, die weißliches Licht ergeben.

Wie groß ist die Beleuchtung der Fußbodenfläche in der Mitte des Quadrates?

Bemerkungen: 1. Die Beleuchtung einer von einer Lampe beschienenen und von den Lichtstrahlen senkrecht getroffenen kleinen Fläche, ausgedrückt in Lux, ist gleich der in HK ausgedrückten Intensität der Lampe in der Richtung von der Lampe zur Fläche, dividiert durch das Quadrat der in Metern gemessenen Entfernung zwischen Lampe und Fläche. Liegt die Fläche nicht senkrecht zu den Lichtstrahlen, so verhält sich ihre Beleuchtung zu der Beleuchtung einer an derselben Stelle, aber senkrecht zu den Strahlen liegenden Fläche wie der Inhalt ihrer Projektion auf jene Fläche zu ihrem eigenen Inhalt.

2. Es werde angenommen, daß die Werte von J nach allen denjenigen Richtungen, die denselben Winkel gegen die Vertikale haben (also auf dem ganzen Mantel eines Kreiskegels mit senkrechter, durch die Lampe gehender Achse), gleichgroß sind, obwohl dies nicht immer zutrifft, besonders nicht bei Effektbogenlampen mit nebeneinander stehenden Kohlen.

(Vgl. Kosack S. 237, 243, 246. — Bernoulli S. 571. — Hütte 1923, II., S. 939, 940, 951 bis 954. — Dubbel II., S. 828 bis 831. — Freytag S. 1131, 1132.)

91. Berechnung der Exzentrizität und des Voreilwinkels für einen einfachen Muschelschieber einer Dampfmaschinen-Steuerung.

Gegeben seien die Dimensionen des Schieberspiegels und des Schiebers gemäß der Abb. 24, und zwar:

Kanalweite $a = 30$ mm;
Mitten-Entfernung der beiden Kanäle $b = 180$ mm;
Schieberlänge $c = 294$ mm;
Innenweite des Schiebers $d = 128$ mm.

Die Maschine ist fertiggestellt, jedoch können Exzentrizität und Voreilwinkel noch durch Verschieben und Verdrehen des Exzenters gegenüber der Welle verändert werden.

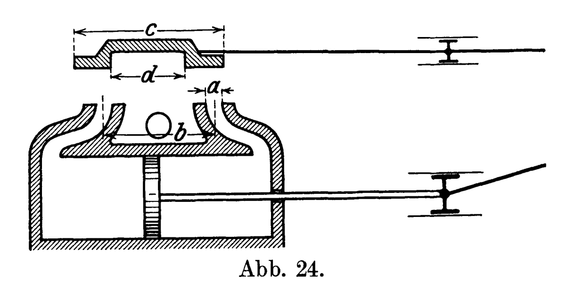


Abb. 24.

Kurbelstange und Exzenterstange mögen als unendlich lang angesehen werden.

Gefordert sei: Füllung 68 %; Kompression (einschl Voreinströmung) 17 %.

Gesucht:
1. die Exzentrizität ϱ;
2. der Voreilwinkel α;
3. die Vorausströmung in %;
4. die Voreinströmung in %.

Die gesuchten Werte sollen durch Rechnung (nicht durch genaue Zeichnung) ermittelt werden.

(Vgl. Bernoulli S. 430, 432. — Hütte 1923, II., S. 169, 171, 172. — Dubbel II., S. 111, 112. — Freytag S. 516 bis 519.)

92. Berechnung der Leistung eines Dieselmotors aus den Indikatordiagrammen.

An einem liegenden doppeltwirkenden Viertakt-Dieselmotor mit Tandem-Anordnung der Zylinder und mit zwei Kurbeln sind sämtliche Verbrennungsräume indiziert worden. Der Mittelwert des Flächeninhalts aller Diagramme ergab je 698 qmm. Die Diagrammlänge war bei allen Diagrammen 76 mm, der Federmaßstab bei allen 1 at = 1,5 mm. Alle Zylinder sind gleich und haben eine Bohrung von 700 mm und einen Hub von 1100 mm. Die Kolbenstangen gehen durch alle Zylinder vollständig hindurch und haben überall einen Durchmesser von 220 mm. Die Umdrehungen wurden gezählt, und zwar 600 Umdrehungen in 5 Minuten und 36 Sekunden.

Zu berechnen ist die effektive Leistung der Maschine, wenn der mechanische Wirkungsgrad zu 0,8 angenommen wird.

(Vgl. Bernoulli S. 416, 422, 497, 499, 500, 511, 512, 448. — Hütte 1923, II., S. 383, 384, 341, 293, 303, 325, 339, 135. — Dubbel II., S. 109, 107, 149. — Freytag S. 588 bis 593, 746, 715, 720.)

93. Bestimmung der erforderlichen Betriebszeit und der Größe einer Akkumulatorenbatterie für eine Gleichstromzentrale.

Der Tagesverlauf des Verbrauches einer kleinen elektrischen Zentrale für Gleichstrom von 220 Volt an einem Wintertage sei veranschlagt wie folgt:

Tageszeit:	Von Mitternacht bis 4 Uhr morgens	Vm 4—6	Vm 6—8	Vm 8—9	Vm Nm 9—2	Nm 2—3	Uhr
Belastung in kW:	0	10	50	20	10	30	kW

Tageszeit:	Nm 3—4	Nm 4—5	Nm 5—6	Nm 6—7	Nm 7—8	Nm 8—9	Nm 9—10	Nm 10—11	Nm 11—12	Uhr
Belastung in kW:	40	60	80	90	50	40	30	10	10	kW

An Betriebsmitteln sind vorgesehen: eine Dynamomaschine von 50 kW und eine Akkumulatorenbatterie, deren Wirkungsgrad zu 75 % angenommen werden kann (bezogen auf Wattstunden).

1. Wann muß der Maschinenbetrieb an jedem Tage beginnen, wenn er abends 10 Uhr beendet sein, ohne Pause geführt werden

und möglichst kurz sein soll, und wenn sowohl die Verbrauchsverhältnisse als die Betriebsverhältnisse längere Zeit hindurch Tag für Tag unverändert bleiben?

2. Wie groß (nach Zellengröße und Zellenzahl) muß die Batterie mindestens sein?

(Vgl. Kosack S. 222 bis 228. — Bernoulli S. 567 bis 569. — Hütte 1923, II., S. 989, 990, 1110, 1115. — Dubbel II., S. 783, 784. — Freytag S. 1083.)

94. Berechnung des Profils eines Kesselhaus-Rauchfuchses.

Für 3 Dampfkessel soll ein gemeinsamer Fuchs gebaut werden, dessen Profil aus einem Rechteck mit aufgesetztem Halbkreisbogen bestehen soll, gemäß beistehender Abbildung 25. Die gesamte lichte Höhe des Fuchses in der Mitte des Gewölbes soll, damit er bequem begangen werden kann, 1900 mm betragen. Gesucht wird die untere lichte Breite x des Fuchsprofils.

Abb. 25.

Jeder Kessel hat 200 m² Heizfläche.

Die Anstrengung der Kessel betrage 17 kg Dampf pro Stunde und m².

Die Dampfart sei Sattdampf von 12 at[1]) Überdruck.

Der Wirkungsgrad der Kesselanlage sei 0,7.

Als Brennstoff ist Braunkohle von der Zusammensetzung der Tabelle Bernoulli, S. 367, Zahlenreihe 9 anzunehmen[2]). Ihr Heizwert ist nach der „Verbandsformel“ (Bernoulli S. 368. — Hütte 1923, I., S. 555, II., S. 105. — Freytag S. 631. — Dubbel I. S. 571 zu bestimmen.

Die Luftmenge sei das 1,6fache der theoretisch erforderlichen.

Die Fuchstemperatur sei 320° C, die Speisewassertemperatur 40°.

Die Geschwindigkeit der Rauchgase im Fuchs soll 4 m/sek sein.

(Vgl. Bernoulli S. 386, 368, 354, 65. — Hütte 1923, I., S. 498, 556, 405, 747. — Dubbel I., S. 397, 566, 385, 386, 578. — Freytag S. 479, 632, 467.)

95. Reibungsziffer bei einem Bremszaum.

An der in der Aufgabe Nr. 82 beschriebenen Brauerschen Bremse wurde die Feder o entfernt, so daß Haken z völlig frei

---

[1]) Metrische Atmosphären oder kg/cm².

[2]) Bestandteile in Gewichtsprozenten: 54,84 % Kohlenstoff, 4,45 % Wasserstoff, 16,64 % Sauerstoff und Stickstoff, 5,40 % Schwefel, 7,32 % Wasser 11,35 % Asche (Unverbrennliches).

war; die Federwage *s* wurde durch eine andere Federwage mit steiferer Feder und Einteilung der Skala nach kg (bis 12 kg) ersetzt; an Haken *p* wurden 35 kg gehängt, der Motor in Betrieb gesetzt, und die Muttern *h* und *f* so angezogen, daß der Bremsbalken *a* wagerecht schwebte. Dabei zeigte die Federwage 7,8 kg.

Die Gewichte des Bremszaumes selbst waren vorher besonders ermittelt, indem er von der Bremsscheibe entfernt und auf einer Dezimalwage gewogen wurde, und zwar war gefunden worden: das Gewicht des Bremsbalkens *a* nebst oberem Bremsbacken *b*, Haken *p*, Galgen *m* und Hebel *q* (jedoch ohne Bolzen *g* und *d* und ohne unteren Bremsbacken *c*) zu 35,19 kg, das Gewicht der Bolzen *g* und *d* (nebst Muttern *h* und *f*) zu je 8,27 kg; das Gewicht des unteren Bremsbackens *c* zu 19,36 kg.

Die Federwage *s* wurde vorher geeicht, indem man an ihren Haken nacheinander 1, 2, 3 usw. bis 10 kg hängte und dabei an der Skala folgende Werte ablas:

Gewicht am Haken:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 kg;
Ablesung:	1,1	2,2	3,3	4,3	5,6	6,7	7,6	8,8	10,0	10,9 kg.

Ferner wurde der Hebel *k* nebst Schneide *l* und Haken *q* und *z* vom Bremsbalken *a* entfernt und entsprechend der Abb. 26 mit der Kerbe, die vorher auf der Schneide *i* lag, auf eine andere Schneide α gesetzt. Genau unter Haken *q* wurde er durch eine Stütze β auf eine Tafelwage abgestützt. *a* und γ wurden so unterlegt, daß *k* horizontal lag, wenn die Wage einspielte. Durch Gewichte δ wurde die Wage zum Einspielen gebracht, und zwar ergab sich δ zu 528 g. Das Gewicht von β wurde noch besonders festgestellt zu 10 g.

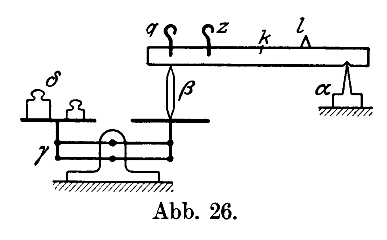


Abb. 26.

Wie groß war der Reibungskoeffizient zwischen Bremsklötzen und Bremsscheibe? Dabei soll angenommen werden, daß die Bremsbacken *b* und *c* die Bremsscheibe nur an ihrem höchsten und tiefsten Punkt berühren.

(Vgl. Bernoulli S. 91, 92. — Hütte 1923, I., S. 282. — Dubbel I., S. 306. — Freytag S. 80. — Ferner die bei Aufgabe 82 angegebene Literatur.

96. Bestimmung der Stufen eines Regulierwiderstandes.

Für eine aus Kupferdraht bestehende Spule (Schenkelwicklung einer Maschine), die zum Anschluß an eine Gleichstromleitung mit 220 Volt bestimmt ist, soll ein Regulierwiderstand

hergestellt werden, der gestattet, den Strom der betriebswarmen Spule in 20 absolut (nicht relativ) gleichen Sprüngen von dem Höchstwert (der bei kurzgeschlossenem Regulierwiderstand eintritt) bis auf die Hälfte dieses Wertes herunter zu regulieren.

Die Temperatur der betriebswarmen Spule ist dabei zu 70° C anzunehmen.

Um eine Unterlage für die Berechnung zu gewinnen, wurde die kalte Spule ohne Vorschaltwiderstand an eine Gleichstromspannung von etwa 110 Volt gelegt unter Einschaltung eines Strommessers, während gleichzeitig die zwischen den Enden der Spule herrschende Spannung mit einem Voltmeter gemessen wurde. Dabei zeigte der Spannungsmesser 113,8 Volt, der Strommesser 0,733 Amp. Die Temperatur des Raumes und der Spule betrug 20° C.

Zu bestimmen ist die Anzahl der Kontakte des Regulierwiderstandes, die Anzahl der Widerstandsstufen, und der Widerstandswert jeder einzelnen Stufe, und zwar sind die letzteren Werte sowohl rechnerisch als graphisch zu ermitteln.

(Vgl. Bernoulli S. 520. — Hütte 1923, II., S. 970 bis 972, 1097. — Dubbel II., S. 753, 776. — Freytag S. 1066, 1065, 1072. — Kosack S. 5 bis 7, 3, 56.)

97. Berechnung des Leistungsverbrauches der Kühlwasserpumpen für eine Dampfturbinen-Zentrale.

Für eine Turbodynamo-Zentrale von 5000 kW, die mit 94 % Vakuum arbeiten soll und dabei 6 kg Dampf pro kWSt braucht, ist der höchste Leistungsbedarf (gemessen am Schaltbrett der Zentrale) der elektrisch angetriebenen Kühlwasserpumpen (Zentrifugalpumpen) zu bestimmen, wobei folgende Annahmen gemacht werden mögen:

Temperaturdifferenz zwischen dem aus dem Oberflächenkondensator austretenden Kühlwasser und dem Dampf im Kondensator: 8° C.

Wasserentnahme aus einem nahe gelegenen Fluß.

Flußwassertemperatur höchstens 18° C.

Höhenlage des Kühlwasser-Austrittsstutzens am Kondensator über Flußwasserspiegel: höchstens[1]) 6,5 m; keine Heberwirkung, d. h. freier Ablauf des warmen Wassers.

Reibungsverlust in der Kühlwasserleitung 1,7 m.

Wirkungsgrad der Pumpen 75 %.

Wirkungsgrad der Elektromotoren 91 %.

---

[1]) Das heißt: bei tiefstem Flußwasserspiegel.

Verluste in der elektrischen Zuleitung vom Schaltbrett der Zentrale bis zu den Motoren 7 %.

(Vgl. Bernoulli S. 384, 382, 386, 445, 446, 323, 336, 521, 540. — Hütte 1923, I., S. 499; II., S. 231, 672, 678, 992, 966. — Dubbel I., S. 397, 398; II., S. 342, 197, 741. — Freytag S. 479, 476, 567, 946, 981, 1098. — Kosack S. 17, 119.)

98. Drehstrom-Leistungsmessung mit Strom- und Spannungswandlern.

Von einer Beleuchtungsanlage, die nur aus Glühlampen besteht und aus einem Drehstromnetz gespeist wird, sei bekannt, daß alle Phasen gleich belastet sind. Der Verbrauch der Anlage soll gemessen werden. Verwendet ist dazu ein Stromwandler mit der Aufschrift 100/5 Amp, ein Amperemeter mit der Skala 0 bis 10 Amp (weil eins mit 0 bis 5 Amp nicht vorhanden war), ein Spannungswandler für 400/110 Volt, und ein Voltmeter mit Skala bis 150 Volt (vgl. das beigefügte Schaltbild Abb. 27). Abgelesen wurde am Amperemeter 3,8 Amp, am Voltmeter 101 Volt.

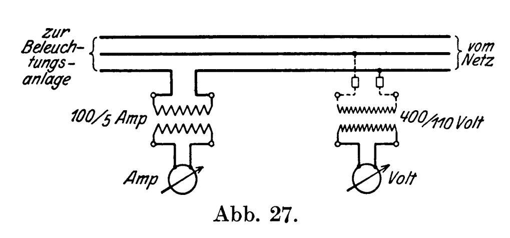


Abb. 27.

Wieviel kW verbrauchte die Anlage während der Messung?

(Vgl. Bernoulli S. 560, 554. — Hütte 1923, II., S. 1094, 1095, 1132. — Dubbel II., S. 767, 772, 773. — Kosack S. 133, 46, 151. — Freytag S. 1079.)

99. Abkühlungsverlust bei einer Dampfleitung.

Durch eine frei über einen Fabrikhof führende nackte Rohrleitung von 300 m Länge strömen stündlich 10000 kg Sattdampf von 12 at Überdruck (gemessen am Kessel). Zugelassen sei ein Druckverlust in der Leitung von 1 at. Die Außenluft-Temperatur sei + 10° C.

1. Wie groß ist der stündliche Wärmeverlust in der Leitung?

2. Wieviel Kohlenkosten verursacht dieser Verlust im Jahre, wenn die Leitung Tag und Nacht unter Druck steht und die mittlere Jahrestemperatur + 10° C beträgt?

3. Wie ändern sich 1. und 2., wenn die Leitung einschließlich der Flanschen mit einer 30 mm starken Schicht von Kieselgur isoliert wird?

Gegeben seien noch folgende Werte:

Wandstärke der Rohrleitung: 4,5 mm; Wirkungsgrad des Kessels: 0,7; Heizwert der Kohle: 7000 Kal/kg; Preis der Kohle: 20 Goldmark pro Tonne.

Die Wärme-Übergangszahl für den Wärme-Übergang von der Kieselgur zur Außenluft werde zu 4 (WE pro qm und Stunde bei 1° C Temperaturdifferenz) angenommen.

(Vgl. Bernoulli S. 376, 388, 374. — Hütte 1923, I., S. 537, 498, 471, 458, 459, 470, 466, 467. — Dubbel II., S. 359; I., S. 397; II., S. 360; I., S. 379, 380. — Freytag S. 478.)

100. Bestimmung des Dampfverbrauches einer Dampfmaschinen-Anlage durch Messungen an der Kondensation.

Die gesamte Dampfmenge einer Dampfmaschinen-Anlage ströme einer Zentral-Oberflächen-Kondensations-Anlage zu, deren Kühlwasser durch einen Kühlturm (Kaminkühler) rückgekühlt und im ständigen Kreislauf immer wieder benutzt wird.

Da die örtlichen Verhältnisse eine Bestimmung des gesamten Dampfverbrauches der Maschinen auf andere Weise nicht gestatten, soll er wenigstens roh durch Messungen an der Kondensationsanlage bestimmt werden.

Zu dem Zweck ist (nach längerer Betriebsdauer mit konstantem Dampfverbrauch und gleichmäßigem Arbeiten der Kühlwasserpumpen, also unter stationären Verhältnissen) an einem am Kühlturm in der offenen Wasserrinne eingebauten Überfall nach der beistehenden Abbildung 28 die Überfallhöhe gemessen worden und ferner am Kondensator die Temperatur in den drei Wasserrohr-Anschlüssen. Dabei ergab sich: Temperatur des eintretenden Kühlwassers 22° C; Temperatur des austretenden Kühlwassers 39° C; Temperatur des austretenden Kondensates 45° C; Höhe des Vakuums 90%. Am Überfall war die Wassertiefe im Kanal: $H = 435$ mm, die Breite $b = 550$ mm, die Wehrhöhe $W = 250$ mm. Alle diese Werte

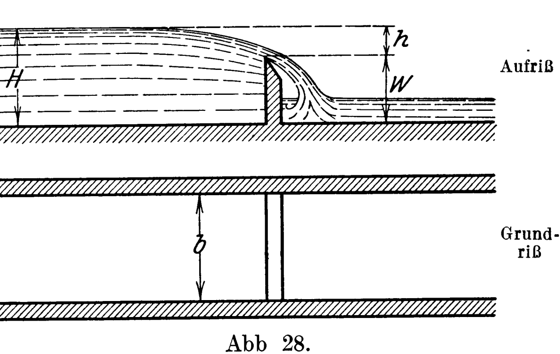


Abb 28.

blieben während der ganzen Betriebsdauer praktisch unverändert.

Wie groß war der stündliche Dampfverbrauch?

(Vgl. Bernoulli S. 274, 275, 386, 446. — Hütte 1923, I., S. 338, 499; II., S. 229, 231, 232, 246. — Dubbel I., S. 362, 397; II., S. 340, 356, 357. — Freytag S. 831, 479, 567, 568, 577, 578.)

101. Jahres-Wirkungsgrad von Transformatoren.

Eine Anzahl von Transformatoren möge eine Gesamt-Nennleistung von 900 kVA haben. Ihr Wirkungsgrad bei voller Belastung mit 900 kVA und $\cos \varphi = 0{,}8$ sei $97{,}5\,\%$. Ihr Leerlaufsverlust betrage $1{,}3\,\%$ ihrer Höchst-Leistungsfähigkeit bei $\cos \varphi = 1$. Die Transformatoren stehen Tag und Nacht unter Spannung. Der Nutzverbrauch auf der Sekundärseite betrage während der Dauer eines Jahres:

500 Stunden	lang	550	kW	bei $\cos \varphi = 0{,}65$
200 ,,	,,	500	,,	,, $\cos \varphi = 0{,}7$
400 ,,	,,	300	,,	,, $\cos \varphi = 0{,}9$
900 ,,	,,	100	,,	,, $\cos \varphi = 0{,}8$
6760 ,,	,,	0	,,	

zus. 8760 Stunden (= 365 Tage à 24 Std.).

Gesucht: Der Jahresverlust (in kWStd) und der Jahres-Wirkungsgrad der gesamten Transformatoren.

(Vgl. Bernoulli S. 554, 565, 566, 521, 560. — Hütte 1923, II., S. 981, 1081, 1082, 973, 1095. — Dubbel II., S. 761, 825, 753, 767. — Freytag S. 1105, 1068, 1079. — Kosack S. 133, 154, 155, 18, 46.)

102. Fördermenge einer Zentrifugalpumpe bei gegebener Q/H-Kurve und gegebener Rohrleitung.

Die Q/H-Kurve einer Zentrifugalpumpe bei ihrer normalen und konstant bleibenden Umlaufsgeschwindigkeit möge mit hinreichender Genauigkeit durch eine gerade Linie dargestellt werden können gemäß folgender Abbildung 29:

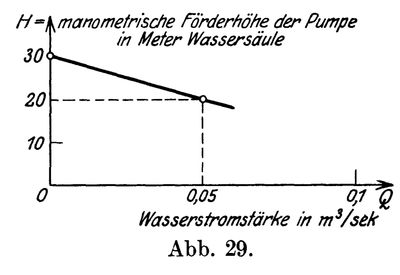


Abb. 29.

Die Saug- und Druckleitung der Pumpe hat einen lichten Durchmesser von 200 mm und eine Gesamtlänge von 250 m. Der Ausguß der Druckleitung liegt um 15 m höher als der Saugwasserspiegel. Der Widerstand in der Rohrleitung in Meter Wassersäule beträgt

nach Pfarr:

$$h_W = 0{,}0018\, L \frac{Q^2}{D^5},$$

worin bedeutet:

L die Rohrlänge in Metern;
Q die Wasserstromstärke in cbm/sek;
D die lichte Rohrweite in Metern.

Gesucht wird die minutliche Fördermenge der Anlage.

(Vgl. Hütte 1923, II., S. 767, 768; I., S. 362, 363, 367. — Dubbel II., S. 261, 267; I., S. 364 bis 368. — Bernoulli S. 283. — Freytag S. 760.)

103. Bestimmung der Phasenverschiebung an einem Einanker-Umformer.

An einem Einanker-Umformer, der mittels eines Transformators aus einem Drehstromnetz gespeist wird und Gleichstrom erzeugt, sind im Betriebe folgende Werte gemessen worden:

Drehstromspannung am Netz vor dem Transformator: 6150 Volt; Stromstärke an derselben Stelle: 118 Amp; Gleichstromspannung an den Bürsten des Umformers: 446 Volt; Stärke des vom Umformer gelieferten Gleichstromes: 1874 Amp.

1. Es ist ein Schaltbild mit den vier Meßinstrumenten zu skizzieren, in dem auch der Regulierwiderstand für das Magnetfeld angegeben ist. Am Regulierwiderstand ist ein Richtungspfeil anzubringen mit der Inschrift: „Mehr voreilender Strom“.

2. Es ist die Phasenverschiebung auf der Drehstromseite zu berechnen unter der Annahme, daß der Wirkungsgrad von Umformer und Transformator zusammen 92 % beträgt.

3. Es wurde durch Probieren festgestellt, daß bei einer Bewegung des Regulierwiderstandes für das Magnetfeld in derjenigen Richtung, die eine Verstärkung des Magnetfeldes ergibt, auf der Gleichstromseite sich Strom und Spannung fast gar nicht ändern, auf der Drehstromseite aber die Stromstärke stieg. Eilt der Strom (mit der unter 2. berechneten Verschiebung) der Spannung nach oder vor?

(Vgl. Bernoulli S. 563, 560. — Hütte 1923, II., S. 1088, 1089, 1095. — Dubbel II., S. 821, 822, 767. — Freytag S. 1103, 1104, 1079. — Kosack S. 183, 184, 323, 46.)

104. Bremsung eines Elektromotors durch Seilbremse mit Federwage.

Ein Gleichstrom-Nebenschluß-Elektromotor für 110 Volt, 1300 Umdr./min, und 5 PS wurde mit einer Seilbremse nach

Abbildung 30 belastet. Die in der Pfeilrichtung umlaufende Scheibe *a* hatte einen Durchmesser von 350 mm, das Bremsseil *b* einen Durchmesser δ von 10 mm. Das Bremsseil ohne Haken wog 189 g bei einer Länge von 263 cm. Links hing ein Gewicht *e* von 35 kg, rechts eine Federwage *f*, die mittels einer Kette *g* am Fußboden befestigt war. Die Federwage selbst wog 340 g, die Kette 780 g, die Haken *c* und *d* je 80 g.

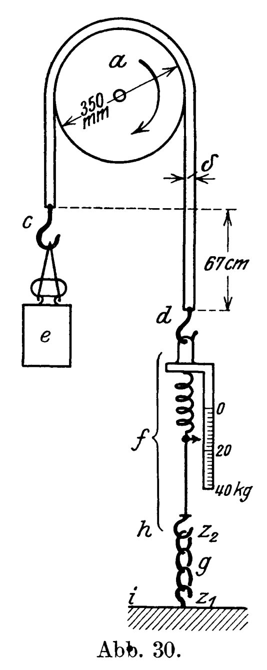


Abb. 30.

An der Federwage wurde abgelesen 19,20 kg.

Die minutliche Umdrehungszahl des Motors wurde dadurch bestimmt, daß nach einer Stoppuhr ein Umdrehungszähler genau 3 Minuten lang gegen den Körner der Motorwelle gedrückt wurde. Er stand vorher auf 1272, nachher auf 7442. Beobachtet wurde, daß er rückwärts lief und daß die Ziffern einmal die Zahl 0000 passierten.

Der dem Motor zugeführte Strom einschließlich des Erregerstromes wurde während der Bremsung gemessen und im Mittel (nach Anbringung aller Korrekturen) zu 41,82 Amp festgestellt, ebenso die Spannung zu 111,3 Volt.

Die Stoppuhr wurde geeicht und es ergab sich, daß sie in 20 Minuten 32,4 Sekunden verliert.

Die Federwage wurde dadurch geeicht, daß an ihren Haken *h* einmal 1 kg, dann 5 kg, endlich 10 kg gehängt wurden, wobei sie eine Ablesung von 1,1 bzw 5,3 bzw 10,6 kg ergab.

1. Wieviel PS leistete der Motor während der Bremsung und wie groß war dabei sein Wirkungsgrad?

2. Wie groß war die Reibungsziffer μ zwischen Seil und Bremsscheibe?

3. Wie groß ergibt sich die Bremsleistung bei anderen Gewichten *e* und unveränderter Umdrehungszahl ungefähr?

(Vgl. Bernoulli S. 131, 132, 80, 81, 94, 114, 521, 540. — Hütte 1923, II., S. 382; I., S. 185, 186, 187, 228, 257, 302, 303; II., S. 992, 966. — Dubbel I., S. 234, 256, 257, 291, 293, 331, 332, II., S. 741. — Freytag S. 835, 49, 52, 53, 56, 57, 202, 1098.)

105. Druckverlust in einer Preßluft-Rohrleitung.

Ein Kompressor saugt in der Minute 30 cbm Luft von 15° C und 700 mm Hg an und komprimiert sie auf 5 at Überdruck,

wobei sie sich auf 45° C erwärmt. Mit diesem Druck und dieser Temperatur strömt sie durch eine 230 m lange Rohrleitung von kreisförmigem Querschnitt und 80 mm lichtem Durchmesser.

Wieviel Prozent des Druckes gehen in der Rohrleitung verloren?

Benutzt werde die Formel von Blaes:

$$H = \lambda \cdot \frac{l}{D} \frac{\gamma v^2}{2g}; \; \lambda = 0{,}0125 + \frac{0{,}0011}{D},$$

worin bedeutet: H den Druckverlust in mm Wassersäule;
λ einen Koeffizienten;
l die Rohrlänge in Metern;
D den lichten Rohrdurchmesser in Metern;
γ das spezifische Gewicht des strömenden Gases in kg/cbm;
v die Strömungsgeschwindigkeit in m/sek;
g die Erdbeschleunigung in m/sek².

1 cbm Luft von 760 mm Hg und 0° C wiegt 1,293 kg.

(Vgl. Bernoulli S. 343, 65, 339. — Hütte 1923, I., S. 477, 747, 537. — Dubbel I., S. 578, 360. — Freytag S. 467, 1005.)

106. Berechnung des Querschnittes einer elektrischen Leitung bei gegebener übertragener Leistung, Zentralenspannung und Länge.

Ein mit Wasserkraft betriebenes Elektrizitätswerk für Gleichstrom mit der Zentralenspannung 440 Volt habe zeitweilig (nachts oder im Sommer oder in wasserreichen Zeiten) großen Überschuß an erzeugbarer Leistung, die schwer verkäuflich ist, weil sie nur unregelmäßig zur Verfügung steht. Endlich findet das Werk dafür einen Abnehmer, der in den dem Elektrizitätswerk passenden Zeiten gleichmäßig 37 kW, gemessen an der Verbrauchsstelle, abnehmen, damit warmes Wasser bereiten und dafür noch einen annehmbaren Preis zahlen will.

Die Leitung von der Zentrale bis zu der 200 m entfernten Verbrauchsstelle ist jedoch vom Elektrizitätswerk zu bezahlen. Auch die Verluste in der Leitung gehen zu Lasten des Elektrizitätswerkes, das jedoch, weil in diesen Zeiten überflüssige unverkäufliche Arbeit reichlich vorhanden ist, kein Interesse daran hat, sie niedrig zu halten. Dem Abnehmer ist es gleichgültig, mit welcher Spannung er den Strom geliefert erhält, da er seine zu beschaffenden Heizapparate danach einrichten kann; nur muß ihm die Spannung ein für allemal angegeben werden.

Das Elektrizitätswerk will die Leitung als Freileitung mit Aluminiumseilen herstellen und den Querschnitt möglichst gering

bemessen, damit die Leitung möglichst billig wird. Im Hinblick auf die Erwärmung der Leitung möge eine Stromstärke von höchstens 3 Amp pro qmm zulässig sein.

1. Wie stark ist die Leitung zu wählen?
2. Mit welcher Spannung wird der Strom geliefert?

(Vgl. Bernoulli S. 523, 520. — Hütte 1923, II., S. 1155, 972. — Dubbel II., S. 843, 753. — Freytag S. 1066. — Kosack S. 273, 5.)

107. Bestimmung der indizierten Leistung einer Dampfmaschine aus den Indikatordiagrammen.

Die indizierte Maschine ist eine Tandem-Maschine mit 2 Zylindern. Die normale minutliche Tourenzahl ist 150. Der Hub beträgt 800 mm. Die Bohrung beträgt beim Hochdruckzylinder 450 mm, beim Niederdruckzylinder 730 mm. Die Kolbenstange, die auch noch durch den hinteren Zylinderdeckel durchtritt, hat einen überall gleichen Durchmesser von 60 mm. Indiziert ist gleichzeitig mit 4 Indikatoren, und zwar achtmal in gleichen Zeitabständen. Die Planimetrierung der 4 Diagrammgruppen ergab als Mittelwerte für je 8 Diagramme desselben Zylinder-Raumes die folgenden Flächeninhalte: Hochdruckzylinder-Deckelseite: 13,8 qcm; Hochdruckzylinder-Kurbelseite: 12,9 qcm; Niederdruckzylinder-Deckelseite: 15,9 qcm; Niederdruckzylinder-Kurbelseite: 14,7 qcm. Die Länge der Diagramme betrug bei allen Diagrammen 78,4 mm. Die Indikatorfedern, mit denen die beiden Hochdruckdiagramme geschrieben wurden, tragen die Aufschrift: „1 mm = 0,2 at bei Verwendung des Kolbens von 10 mm Durchmesser". Die Indikatorfedern, mit denen die beiden Niederdruckdiagramme geschrieben wurden, tragen die Aufschrift: „1 mm = 0,25 at bei Verwendung des Kolbens von 10 mm Durchmesser". Verwendet wurden bei den Hochdruckdiagrammen Indikatorkolben von 10 mm Durchmesser, bei den Niederdruckdiagrammen dagegen Kolben von 20 mm Durchmesser.

Die Umdrehungszahl bei der Messung war genau gleich der oben angegebenen normalen.

Zu bestimmen ist die indizierte Leistung der Maschine während der Messung.

(Vgl. Bernoulli S. 415, 416, 421, 422. — Hütte 1923, II., S. 383, 384, 119; I., S. 480. — Dubbel II., S. 109, 107. — Freytag S. 588 bis 593, 498.)

108. Rohrleitung und elektrische Leitung für eine Schacht-Förderpumpe.

Eine Schacht-Förderpumpe (Zentrifugalpumpe mit Elektromotor) soll in der Minute 6 cbm Wasser fördern. Die Teufe be-

trage 300 m, die Wassergeschwindigkeit in der Leitung soll 2,5 m/sek sein, die Spannung am Motor beträgt 500 Volt (Gleichstrom). Die Entfernung der Zentrale von der Schachtmündung sei 100 m.

Gesucht: 1. die Druckrohrweite.

2. der Druckverlust durch Reibung in der Leitung (Bernoulli S. 282. — Hütte 1923, I., S. 362, 366. — Dubbel II., S. 362; I., S. 364 bis 368. — Freytag S. 760).

Bemerkung: Die Gesamtlänge der wagerechten Rohrstrecken an der Pumpe und über Tage möge 30 Meter betragen.

3. der Kraftbedarf (richtiger: Leistungsbedarf) der Pumpe, wenn der Wirkungsgrad der Pumpe zu 0,8 angenommen wird. In der Rohrleitung sind 6 normale Krümmer anzunehmen.

4. der Stromverbrauch des Motors in kW und in Amp. (Der Wirkungsgrad ist passend anzunehmen.)

5. der Kabelquerschnitt. (Nach Erwärmung zu bemessen unter Annahme von Kupfer als Leitungsmaterial.) (Bernoulli S. 521. — Hütte 1923, II., S. 1152. — Dubbel II., S. 840. — Strecker S. 439.)

6. der Leistungsbedarf in kW, gemessen an den Sammelschinen der Zentrale.

7. die in der Zentrale erforderliche Spannung.

(Vgl. Bernoulli S. 282, 285, 243, 336, 521, 540, 520, 523. — Hütte 1923, I., S. 362, 366, 374, 925; II., S. 672, 992, 966, 1152, 1155, 971. — Dubbel II., S. 362; I., S. 364 bis 368, 827; II., S. 197, 741, 840, 753, 843. — Freytag S. 760, 388, 981, 1098, 1127. — Kosack S. 119, 17, 271, 272, 5, 273. — Vorschr. u. Normen d. Verb. Dtsch. Elektrotechn., 1923, S. 309.)

109. Berechnung der Beanspruchung von Mauerpfeilern durch einen Laufkran.

Zu berechnen ist der größte Druck auf einen der Mauerpfeiler, auf denen die Kranbahn ruht, bei verschiedenen Stellungen des Laufkranes mit voller Belastung. Gegeben seien die folgenden Werte:

Größte Last am Haken: 16 t;
Spannweite des Kranes: 13,26 m;
Gewicht des Kranes ohne Laufkatze: 7600 kg;
Gewicht der Katze: 2400 kg.

Die Kranlaufbahn besteht aus I-Trägern, Normalprofil Nr. 45 mit aufgenieteter Schiene. Der Radstand (Entfernung von Mitte Vorderrad bis Mitte Hinterrad) des Kranes beträgt 2500 mm.

Die geringste horizontale Entfernung des Lasthakens von einer Kranlaufbahnschiene beträgt 850 mm.

Die Abstände von Mitte bis Mitte Mauerpfeiler sind je 4 m.

Zu berechnen ist auch die erforderliche Breite der Mauerpfeiler, wenn die Pfeiler 38 cm aus der Wandfläche vorspringen sollen und wenn das Pfeilermauerwerk höchstens mit 6 kg/qcm auf Druck beansprucht werden soll. Dabei soll angenommen werden, daß nur der der Wand vorgelagerte Pfeiler trägt, nicht die Wand selbst, und daß der Druck mittels geeigneter gußeiserner Unterlegplatten von der Laufbahn gleichmäßig auf die ganze Pfeilerfläche übertragen wird. Ferner ist anzunehmen, daß die Laufbahn auf jedem Pfeiler geschnitten ist, also aus lauter Einzelstücken besteht, die als Balken auf zwei Stützen anzusehen sind.

(Vgl. Bernoulli S. 260 bis 263, 72. — Hütte 1923, II., S. 527 bis 532, I., S. 771. — Dubbel II., S. 469 bis 483; I., S. 586. — Freytag S. 902 bis 909, 1157.)

110. Berechnung der Leistungsfähigkeit eines Faktoren-Rollenzuges mit Bockwinde.

Für das Heben schwerer Maschinenteile bei der Montage einer Maschine ist von der Maschinenfabrik ein sogenannter „Faktoren-Rollenzug" (Flaschenzug) mit 3 Rollen in der festen und 2 Rollen in der losen Flasche mitgeliefert worden. Dazu gehört ein Hanfseil von 26 mm $\varnothing$ und eine Bock-Handwinde („Kabelwinde"), mit der das Seil angezogen wird.

1. Welche Höchstlast läßt sich mit diesen Einrichtungen heben, wenn das Seil an der höchstbeanspruchten Stelle noch 10fache Sicherheit gegen Reißen haben soll, und wenn angenommen wird, daß alle anderen Teile der Einrichtung für eine höhere Last ausreichen als das Seil? Die Biegungsbeanspruchung des Seiles ist zu vernachlässigen bzw. soll durch die Wahl einer 10fachen Sicherheit gegen Reißen bereits als mit berücksichtigt gelten.

2. Wieviele Arbeiter müssen an den Kurbeln der Bockwinde drehen, um jene Höchstlast am Flaschenzug zu heben, wenn die Bockwinde folgendermaßen gebaut ist und einen gesamten Wirkungsgrad von 0,75 hat:

Kurbelradius: 40 cm;

Seiltrommel-Durchmesser: 350 mm;

Zähnezahl des mit der Seiltrommel fest verbundenen Zahnrades: 70;

Zähnezahl des kleinen Rades auf der Vorgelegewelle: 12;

Zähnezahl des großen Rades auf der Vorgelegewelle: 50;

Zähnezahl des Rades auf der Kurbelwelle: 13.

3. Um wieviel wird sich jene Höchstlast etwa in der Minute heben, wenn die gemäß 2. ermittelte Anzahl von Arbeitern an den Kurbeln arbeiten?

(Vgl. Bernoulli S. 180, 176, 249, 248, 115, 253, 255, 105. — Hütte 1923, I., S. 603, 305; II., S. 2. — Dubbel I., S. 781, 328; II., S. 378, 199, 424. — Freytag S. 89, 844, 852, 313.)

111. Belastung von Welle und Lagern einer rasch laufenden Dynamo durch exzentrische Anordnung des Rotors.

Der Rotor wiege 1500 kg und laufe mit 3000 Umdrehungen in der Minute. Er sei infolge eines Versehens der Werkstatt ungenau gebohrt oder schlecht austariert, derart, daß diejenige seiner „freien Achsen", die mit der Verbindungslinie der Mittelachsen der Lagerbohrungen zusammenfallen sollte, zwar dieser Linie parallel liegt, aber von ihr um 0,7 mm entfernt ist.

1. Zwischen welchen Grenzen schwankt infolge dieses Fehlers die Belastung von Welle und Lagern?

2. Um wieviel Prozent wird durch den Fehler die Höchstbelastung gegenüber genauer Montierung vermehrt?

(Vgl. Bernoulli S. 102, 96, 94. — Hütte 1923, I., S. 206, 312, 228, 183. — Dubbel I., S. 273, 272, 234, 250. — Freytag S. 77, 52, 49.)

112. Prüfung der Zweckmäßigkeit des Anschlusses eines Schlachthofes an ein Elektrizitätswerk.

Eine Stadt besitzt ein Elektrizitätswerk und einen Schlachthof.

Der Schlachthof erzeugt bisher seinen Warmwasserbedarf durch Dampf aus eigenen Kesseln und seinen „Kraftbedarf" (exakter: „Bedarf an mechanischer Arbeit") von jährlich 700000 PS_e-Std durch mehrere eigene Einzylinder-Auspuff-Kolbendampfmaschinen von zusammen ca 350 PS_e. Der Admissionsdruck der Maschinen beträgt 8 at Überdruck, die Dampftemperatur 200° C. Der Dampf verläßt die Maschinen mit 0,2 at Überdruck und wird außer zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers auf 90° C nach Möglichkeit zur Anwärmung von Gebrauchswasser auf 80° C verwendet. Nur soweit die Maschinen-Abdampfmenge den jeweiligen Dampfbedarf zur Warmwasserbereitung übersteigt, pufft der Abdampf frei aus. Der Wirkungsgrad der Kesselanlage beträgt 70%. Die Maschinen erfordern für die PS_i-Std etwa 10 kg Dampf und haben einen mechanischen Wirkungsgrad von 0,8. Die Kohlen kosten 43 Goldmark pro Tonne und haben 7200 WE/kg. Die Temperatur des Brunnenwassers beträgt im Mittel + 10° C.

Das Elektrizitätswerk verbraucht für die erzeugte kWStd 1,1 kg Kohle.

Ist es für den Säckel der Stadt als der Besitzerin beider Anlagen vorteilhaft, die Dampfmaschinen des Schlachthofes stillzu-

legen und den Kraftbedarf des Schlachthofes aus dem Eltwerk zu entnehmen, wenn das Eltwerk so groß ist, daß es diese Mehrbelastung noch für viele Jahre ohne Vergrößerung tragen kann, so daß der Kapitaldienst des Eltwerks durch den Anschluß des Schlachthofes nicht wächst?

Der Verlust in der Leitung vom Eltwerk zum Schlachthof ist zu 7 % und der Wirkungsgrad der im Schlachthof aufzustellenden Elektromotoren zu 90 % anzunehmen. Für die Beschaffung der elektrischen Zuleitung vom Eltwerk zum Schlachthof und für die sonstigen durch die Änderung bedingten Anschaffungen, insbesondere für die Elektromotoren als Ersatz der Dampfmaschinen des Schlachthofes, ist außer dem Erlös aus dem Verkauf der freiwerdenden Dampfmaschinen ein Kapital von 70000 Goldmark aufzuwenden, das mit 9 % pro Jahr verzinst und getilgt werden soll. Außer diesem Kapitaldienst sollen nur die Kohlenkosten in Betracht gezogen werden, während alle übrigen Ausgaben (Bedienung, Unterhaltung, sowie der Kapitaldienst des Elektrizitätswerkes) als in beiden Fällen gleich oder als unerheblich angesehen werden sollen.

Die Antwort wird wesentlich davon abhängen, ein wie großer Teil des Abdampfes der Schlachthofmaschinen zur Warmwasserbereitung verwendet werden kann. Es sind daher durch Formel und Kurve die gesamten Jahresausgaben der Stadt, soweit sie von der hier zur Erörterung stehenden Entscheidung abhängen, als Funktion dieser Abdampf-Ausnutzungsziffer darzustellen, die von 0 bis 100 % schwanken kann.

(Vgl. Bernoulli S. 422, 391, 386, 397, 371, 521, 540. — Hütte 1923, II., S. 117; I., S. 505, 499; II., S. 6, 966, 992. — Dubbel II., S. 107; I., S. 402, 397; II., S. 5, 741. — Freytag S. 498, 483, 478, 631, 1098.)

Zweiter Teil.

Lösungen.

1. Jeder Kolben hat bei seinem Arbeitshub eine Wasserverdrängung von: $0{,}1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0{,}2$ cbm. Die drei Plunger zusammen liefern daher bei einer Umdrehung $0{,}1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}9 \cdot 3$ cbm und folglich in einer Stunde: $0{,}1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}9 \cdot 3 \cdot 70 \cdot 60 \approx 17{,}8$ cbm/Std oder 17800 Liter/Std.

Nach den gesetzlichen Bestimmungen muß jede Speisevorrichtung dem Kessel das Doppelte derjenigen Wassermenge zuführen können, die der normalen Verdampfungsfähigkeit des Kessels entspricht. Da normale Wasserrohrkessel, wenn keine gute Ausnutzung der Kohle gefordert wird, etwa 30 kg Dampf pro Stunde und Quadratmeter Heizfläche erzeugen können, so muß jede Speisevorrichtung mindestens liefern können:

$2 \cdot 250 \cdot 30 = 15000$ Liter/Std. Die Pumpe genügt also den gesetzlichen Vorschriften.

2. Zu 1. Die Klemme x des Instrumentes wird stets benutzt und mit dem positiven Pol der Anlage verbunden. Von den Klemmen y und z wird jeweils nur eine benutzt, und zwar y insbesondere für Strommessungen, wobei das Instrument parallel zu Nebenschlüssen gelegt wird, z dagegen zu Spannungsmessungen. Bei Benutzung von z reicht gemäß der Aufschrift das Instrument allein für Messungen bis zu 3 Volt aus. Bei höheren Spannungen ist ein äußerer Vorwiderstand vorzuschalten. Schaltet man den ganzen verfügbaren Widerstand vor (Klemmen a und d), mit $4000 + 45000 + 50000 = 99000\,\Omega$, gemäß Abb 31, so ist der Gesamtwiderstand zwischen f und g einschließlich des Instrumentes $99000 + 1000 = 100000\,\Omega$. Da durch diesen gesamten Widerstand einschließlich des Instrumentes ein unverzweigter (sehr

schwacher, höchstens 3 mA!) Strom i fließt, so verhält sich die Spannung an den Enden des Gesamtwiderstandes (d h die Spannung zwischen f und g) zu der Spannung zwischen z und x wie der Gesamtwiderstand (100000 Ω) zum Instrumentwiderstand (1000 Ω), also wie 100:1. Das Instrument zeigt immer nur die zwischen seinen Klemmen (z und x) herrschende Spannung an und gibt zum Beispiel vollen Ausschlag (150°), wenn diese Spannung 3 Volt ist. Die Spannung zd oder fd oder fg (diese drei Spannungen sind praktisch gleich, weil der Widerstand der Verbindungsleitungen verschwindend klein ist gegenüber dem des Instrumentes und Vorwiderstandes) ist aber 100 mal so groß, also bei vollem Ausschlag 300 Volt. Wenn die zu messende Spannung etwa 220 Volt beträgt, wird sie also auf diese Weise meßbar sein und einen guten Ausschlag von etwa $^2/_3$ der vollen Skala ergeben.

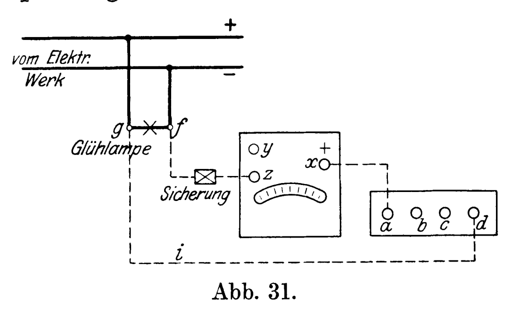


Abb. 31.

Die Wahl der Klemmen a und c (statt a und d) würde einen Gesamtwiderstand von $4000 + 45000 + 1000 = 50000\ \Omega$ ergeben, also ein Verhältnis von 50:1 und daher ein Meßbereich von $3 \cdot 50 = 150$ Volt, das zur Messung einer Spannung von ca 220 Volt nicht ausreicht. Bei Wahl der Klemmen a und b wäre das Meßbereich noch kleiner. Die Klemmen b und d würden zwar ausreichen, aber eine unbequeme Verhältniszahl geben (96). Die zu wählende Schaltung ist daher die durch die Abbildung angegebene.

Der Einbau einer Sicherung schützt das Instrument zwar nicht vor Überlastung, bewirkt aber doch, daß bei einem Kurzschluß die Zerstörung weniger umfangreich wird.

Die Reihenfolge von Sicherung, Instrument, Vorwiderstand ist gleichgültig. Die Polaritätszeichen sind zu beachten.

Zu 2. Bei der skizzierten Schaltung entspricht gemäß den Ausführungen unter 1. dem vollen Ausschlag von 150° eine Spannung an der Lampe von 300 Volt. 1° bedeutet daher $\frac{300}{150} = 2$ Volt; 108,4° bedeuten folglich $108{,}4 \cdot 2 =$ **216,8 Volt.**

Zu 3. Zweckmäßig ist ein möglichst kleines Meßbereich zu wählen, damit der Ausschlag und damit die Meßgenauigkeit

möglichst groß wird. Andrerseits muß das Meßbereich größer sein als der zu messende Wert, damit der Zeiger nicht über die Skala hinausgeht, wobei die Ablesung unmöglich und das Instrument überlastet wird.

Das Meßbereich betrug bei Benutzung der Klemmen a und d: 300 Volt; bei Klemmen a und c: 150 Volt. Bei Klemmen a und b wird es $3 \cdot \frac{4000 + 1000}{1000} = 3 \cdot \frac{5000}{1000} = 15$ Volt. Die Schaltung mit den Klemmen a und b würde daher zur Messung einer Spannung von etwa 18 Volt nicht ausreichen. Vielmehr ist dann zweckmäßig Klemme a und c zu wählen, wobei ein Skalenteil $\frac{150 \text{ Volt}}{150^0} = 1$ Volt bedeutet.

3. Denkt man sich die Achse des Preßluftzylinders wagerecht liegend und bezeichnet p den Überdruck im Innern des zylindrischen Behälters in kg/cm², so versucht die Preßluft beispielsweise die obere Hälfte des Mantels mit einer Kraft von $p \cdot l \cdot D$ kg senkrecht aufwärts zu heben, wobei l die innere Länge des Zylinders (in cm) und D den inneren Zylinderdurchmesser (in cm) bedeutet. Diese Kraft, die das Mantelblech in der durch die Zylinderachse gelegten Horizontalebene an zwei Stellen zu zerreißen versucht, muß von den beiden auf Zug beanspruchten Querschnittsflächen aufgenommen werden[1]). Jede dieser Flächen hat einen Inhalt, der sich aus Blechstärke mal Zylinderlänge ergibt. Dabei muß jedoch von der Blechstärke von 1,6 cm mit Rücksicht auf das Abrosten 1 mm abgezogen werden, so daß in die Rechnung nur eine Stärke von 1,5 cm einzusetzen ist und der einzelne Flächeninhalt nur $1{,}5 \cdot l$ cm² beträgt. Auf jede Fläche entfällt eine Kraft von $\frac{p \cdot l \cdot D}{2}$ kg $= \frac{p \cdot l \cdot 220}{2} = 110\, p \cdot l$ kg, so daß die spezifische Zugbeanspruchung des Materials (in kg/cm²) sich ergibt zu $\frac{110\, p \cdot l}{1{,}5\, l} = 73{,}3\, p$ kg/cm².

Andererseits soll gemäß der Forderung einer siebenfachen Sicherheit und der angegebenen Reißfestigkeit des Manteleisens von 4000 kg/cm² diese spezifische Beanspruchung $\frac{4000}{7}$ kg/cm² sein.

[1]) Die gleiche Kraft sucht den Zylinder auch längs jeder anderen durch die Zylinderachse gelegten Ebene in zwei Hälften zu zerreißen. Da aber bei einem geschweißten Behälter die Wandfestigkeit in jeder derartigen Ebene gleich groß ist, genügt es, eine beliebige Reißebene (hier die horizontale) ins Auge zu fassen. Bei genietetem Behälter müßte die durch die Nietnaht und die Zylinderachse gehende Ebene betrachtet werden.

Daraus ergibt sich die Beziehung:

$$73{,}3\,p = \frac{4000}{7}; \qquad p = \frac{4000}{7 \cdot 73{,}3} = \mathbf{7{,}8\ kg/cm^2}.$$

Dies ist daher der höchstzulässige Überdruck im Behälter. Es ist zugleich derjenige Wert, den das Manometer höchstens anzeigen darf, da die Manometer den Überdruck (nicht den absoluten Druck) anzeigen und ihre Skala üblicherweise nach kg/cm², das ist nach metrischen Atmosphären eingeteilt wird.

4. Zu 1. Der Spannungsverlust ε in Volt in der Leitung, und zwar in Hin- und Rückleitung zusammen, ist iR, wenn i den Strom in Amp bedeutet und R den Widerstand von Hin- und Rückleitung zusammen in Ohm. R ist nun wieder gleich $\frac{\varrho l}{q}$, wenn ϱ den spezifischen Widerstand des Leitungsmetalles in $\frac{\text{Ohm} \cdot \text{Meter}}{\text{qmm}}$ oder den Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt in Ohm bedeutet (der für Kupfer etwa $\frac{1}{57}$ ist), l die ganze Länge der Leitung (Hin- und Rückleitung zusammen!) in Metern, q den Querschnitt eines Poles (+ oder −) der Leitung in qmm.

Hier ist daher $R = \frac{1 \cdot 2 \cdot 600}{57 \cdot 120}\,\Omega$, und $\varepsilon = 321 \cdot \frac{2 \cdot 600}{57 \cdot 120}$ $= \mathbf{56{,}3\ Volt}$, oder in Prozenten der Anfangsspannung: $\frac{56{,}3 \cdot 100}{512}\,\%$ $= \mathbf{11{,}0\,\%}$.

Zu 2. Wenn von der Anfangsspannung bei der Zentrale (von 512 Volt) in der Leitung 56,3 Volt verloren gehen, so bleibt bei der Fabrik nur noch eine Spannung von 512 − 56,3 = **455,7 Volt** übrig.

Zu 3. In die Leitung fließen von der Zentrale $512 \cdot i$ Watt. Verloren gehen in der Leitung $56{,}3 \cdot i$ Watt. Der prozentuale Wattverlust ist daher ebenso groß wie der prozentuale Spannungsverlust, also in diesem Falle gemäß der Berechnung zu 1. ebenfalls **11,0 %**.

Zu 4. Gemäß dem Vorstehenden gehen in der Leitung $56{,}3 \cdot i$ $= 56{,}3 \cdot 321 =$ **18008 Watt** verloren.

Zu 5. Da gemäß der Berechnung zu 3. in der Leitung 11 % der Anfangsleistung verloren gehen, so kommen nur noch 100 − 11,0 = 89,0 % der Anfangsleistung am Ende an. Da man

unter dem Wirkungsgrad η einer Einrichtung das Verhältnis der abgegebenen Leistung zur aufgenommenen versteht, ist hier für die Leitung allein $\eta = \mathbf{0{,}89}$.

Zu 6. Die in der Fabrik ankommende Leistung ergibt sich aus der Stromstärke von 321 Amp und der an der Fabrik herrschenden Spannung. Letztere beträgt (gemäß der Berechnung zu 2) 455,7 Volt, so daß sich die gesuchte Leistung zu $321 \cdot 455{,}7 = 146\,280$ Watt oder ca **146,3 kW** ergibt.

5. Zunächst sind die Auflagedrucke A und B zu bestimmen. Die Gleichgewichtsbedingungen für den Balken lauten unter Bezugnahme auf Abb 32:.

1. in bezug auf die Kräfte:

$$\begin{matrix} A & + & B & = & 800 & + & 300, \\ \uparrow & & \uparrow & & \downarrow & & \downarrow \end{matrix}$$

woraus folgt:

$$A = 1100 - B;$$

Abb. 32.

2. in bezug auf die Drehmomente, wobei als Drehpunkt etwa der Auflagepunkt bei A angenommen werden mag:

$$\begin{matrix} B \cdot 6 & = & 800 \cdot 1{,}5 & + & 300 \cdot 3{,}5, \\ \circlearrowleft & & \circlearrowright & & \circlearrowright \end{matrix}$$

woraus folgt: $B = \dfrac{1200 + 1050}{6} = \dfrac{2250}{6} = 375$ kg.

Aus 1. folgt dann: $A = 1100 - 375 = 725$ kg.

Nun lassen sich die Biegungsmomente berechnen, von denen nur der Höchstwert interessiert. Da sie sich linear mit dem Abstande von den Auflagepunkten ändern, muß der Höchstwert bei einer der beiden Lasten liegen.

Das Biegungsmoment beträgt:

1. am Angriffspunkt der 800 kg:

$$A \cdot 1{,}5, \text{ also } 725 \cdot 1{,}5 = 1090 \text{ mkg};$$

2. am Angriffspunkt der 300 kg:

$$B \cdot 2{,}5, \text{ also } 375 \cdot 2{,}5 = 940 \text{ mkg}.$$

Der gesuchte Höchstwert von $\mathfrak{M}_b$ ist also 1090 mkg.

Die Biegungsformel heißt: „Biegungsmoment = Randspannung mal Widerstandsmoment“

oder
$$\mathfrak{M}_b = \sigma \cdot W = \sigma \cdot \frac{J}{e}.$$

Wird hierin für σ die **höchstzulässige** Spannung eingesetzt, so ergibt sich der **mindestens** erforderliche Wert von W. Für Holz ist das hier zulässige $\sigma = 100\ \mathrm{kg/cm^2}$. Wird es mit 100 eingesetzt, also bezogen auf cm^2, so muß auch $\mathfrak{M}_b$ in **kgcm** (!) eingesetzt werden, damit sich W in cm^4 ergibt. Daraus folgt:

$$W = \frac{\mathfrak{M}_b}{\sigma} = \frac{100 \cdot 1090}{100} = 1090\ \mathrm{cm}^4 .$$

Nun ist bei rechteckigem Querschnitt $W = \frac{b h^2}{6}$; ferner ist $h = 20$ **cm** (!) gegeben, woraus dann folgt:

$$b = \frac{6 \cdot W}{h^2} = \frac{6 \cdot 1090}{20 \cdot 20} = \mathbf{16{,}3\ cm.}$$

6. Das Instrument mißt die Spannung e (in Volt) an den Enden des aus dem Normalwiderstand R_n (in Ohm) und dem Instrumentenwiderstand R_i (in Ohm) durch Parallelschaltung kombinierten Widerstandes R_k (in Ohm) (vgl. die Abb. 33). Der gesamte durch die Kombination R_k fließende Strom i (in Amp) ergibt sich daraus zu $i = \frac{e}{R_k}$, und zwar ist dies der in der ankommenden und abgehenden Leitung fließende, also der gesuchte Strom.

i (Amp) — R_k (Ohm) — i (Amp)
← e (Volt) →

Abb. 33.

Der Wert von e folgt aus dem Instrumentenausschlag von $117{,}8^0$ und der Bedeutung eines Skalenteiles von 2 mV zu $117{,}8 \cdot \frac{2}{1000} = 0{,}2356$ Volt. Den Wert von R_k ermittelt man am bequemsten durch Addition der **Leitwerte** von Normalwiderstand und Instrument (in Siemens):

$$\frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_i} = \frac{1}{1/999} + \frac{1}{1} = 999 + 1 = 1000 \text{ Siemens},$$

woraus dann folgt: $R_k = \frac{1}{1000}$ Ohm.

Somit ergibt sich der gesuchte Strom zu:

$$i = \frac{0{,}2356}{0{,}001} = \mathbf{235{,}6\ Amp.}\text{[1]}$$

7. Bedeutet d den Durchmesser der Welle in cm (hier 8), N die zu übertragende Leistung in PS, n die Drehzahl pro

[1]) Vgl. Aufgabe Nr. 16 und 28.

Minute (hier 130), und wird, wie üblich, die zulässige Torsionsbeanspruchung des Materials zu 120 kg/cm² und der zulässige Verdrehungswinkel pro Meter Wellenlänge zu $^1/_4{}^0$ angenommen, so gelten gemäß den angegebenen Litteraturstellen für d die folgenden Mindestwerte:

1. wegen Materialbeanspruchung auf Torsion:

$$d \geqq \sqrt[3]{3000 \cdot \frac{N}{n}} \quad \text{oder hier} \quad 8 \geqq \sqrt[3]{3000 \cdot \frac{N}{130}};$$

2. wegen Einhaltung des Verdrehungswinkels:

$$d \geqq 12 \sqrt[4]{\frac{N}{n}} \quad \text{oder hier} \quad 8 \geqq 12 \sqrt[4]{\frac{N}{130}}.$$

Aus 1. folgt: $8^3 = 512 \geqq 3000 \frac{N}{130};$

$$N \leqq \frac{512 \cdot 130}{3000} \leqq 22{,}2 \text{ PS}.$$

Aus 2. folgt: $8^4 = 4096 \geqq 12^4 \cdot \frac{N}{130} \geqq \frac{20736\,N}{130};$

$$N \leqq \frac{130 \cdot 4096}{20736} \leqq 25{,}7 \text{ PS}.$$

Aus beiden Forderungen zusammen ergibt sich daher, daß die Welle höchstens **22,2 PS** übertragen kann.

8. Aus den Strom- und Spannungsmessungen ergibt sich der Widerstand der Spule vor und nach dem Betrieb durch die Beziehung $R = e:i$. Der Widerstand der kalten Spule war demnach:

$$R_{\text{Kalt}} = \frac{112{,}4 \text{ Volt}}{12{,}04 \text{ Amp}} = 9{,}35 \text{ Ohm}.$$

Der Widerstand der warmen Spule war:

$$R_{\text{Warm}} = \frac{111{,}3 \text{ Volt}}{10{,}85 \text{ Amp}} = 10{,}25 \text{ Ohm}.$$

Die Widerstandszunahme betrug somit $10{,}25 - 9{,}35 = 0{,}90$ Ohm oder $\frac{0{,}90}{9{,}35} \cdot 100\,\% \approx 9{,}6\,\%$ des Anfangswertes. Da nun der Widerstand des Kupfers für je 1° C um etwa 0,4 % steigt, so war die Spule bei der zweiten Messung um etwa $\frac{9{,}6\,\%}{0{,}4\,\%/\,^0\text{C}} = 24^0$ C wärmer als bei der ersten.

Diese Art der Temperaturmessung ist, besonders bei elektrischen Maschinen, sehr üblich. Sie ist besser als die Messung mit Thermometer, weil sie die mittlere Temperatur der ganzen Spule ergibt, während mittels Thermometer meistens nur die Temperatur an der Spulenoberfläche gemessen werden kann. Die Temperatur im Spuleninnern pflegt aber größer zu sein als die an der Oberfläche.

9. Zur Vermeidung von Irrtümern bezüglich der Maßeinheiten möge bei allen Längen, Durchmessern und Beanspruchungen nach cm bzw cm^2 gerechnet werden.

Aus der gegebenen Drahtzahl (84) und dem gegebenen Drahtdurchmesser (0,14 cm) folgt der gesamte Metallquerschnitt des Drahtseiles zu $q = 84 \cdot 0{,}14^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 1{,}29\ \text{cm}^2$. Hieraus und aus der gegebenen Reißfestigkeit des Drahtmaterials von 12000 kg/cm^2 ergibt sich die Reißgrenze des ganzen Seiles zu $1{,}29 \cdot 12000 = 15500$ kg.

Das Eigengewicht des Seiles ergibt sich aus dem Metallvolumen des Seiles und dem spezifischen Gewicht von 7,8 g/cm^3. Das Metallvolumen folgt aus dem Metallquerschnitt (1,29 cm^2) und der Seillänge ($500 \cdot 100$ cm) zu $1{,}29 \cdot 500 \cdot 100\ \text{cm}^3$. Das Seilgewicht ergibt sich daraus zu $1{,}29 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 7{,}8\ \text{g} = 504000\ \text{g}$ oder 504 kg.

Da eine 8fache Sicherheit gefordert wird und die Reißgrenze 15500 kg betrug, ist die zulässige Zugbeanspruchung des Seiles nur $\frac{15500}{8} = 1940$ kg.

Nach Abzug des Eigengewichtes darf daher die Fremdbelastung höchstens noch $1940 - 504 =$ **1436 kg betragen.**

10. Dem W a s s e r sind zuzuführen $1{,}5 \cdot (100 - 20) = 120$ Kilokalorien. Dem K o c h g e f ä ß ist daher eine elektrische Arbeit zuzuführen, die theoretisch einer Wärmemenge von $\frac{120}{0{,}85} \approx 141$ Kilokalorien entsprechen würde. Diese Wärmemenge ist in kWStd umzurechnen. Bekannt sind folgende Beziehungen:

a) 1 Kilokalorie = 427 mkg;

b) $75 \frac{\text{mkg}}{\text{sek}} = 1$ PS; aus b) folgt:

c) $1\ \text{mkg} = \frac{1}{75}$ PS-Sek;

d) 1 PS = 736 Watt; aus d) folgt:

e) 1 PS-Sek = 736 Watt-Sek = $\frac{736}{1000 \cdot 3600}$ kWStd.

Aus a), c) und e) folgt dann:

$$1 \text{ Kilokalorie} = 427 \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{736}{1000 \cdot 3600} \text{ kWStd} = 1{,}16 \cdot 10^{-3} \text{ kWStd.}$$

(Etwas einfacher wäre diese Rechnung gewesen, wenn man gewußt hätte, daß 1 Wattsekunde = 0,000239 WE oder daß 1 mkg = 9,81 Wattsekunden ist.)

Die erforderliche zuzuführende elektrische Arbeit beträgt demnach $141 \cdot 1{,}16 \cdot 10^{-3} = 0{,}164$ kWStd und kostet $0{,}164 \cdot 15$ $\approx$ **2,5 Goldpfennig.**

11. Die Pumpe entspricht etwa der Anordnung Bernoulli S. 320, Abb. 5[1]). Daß sie doppeltwirkend ist, bedeutet, daß sie bei jedem Hub fördert. Bei jeder Umdrehung fördert sie daher theoretisch eine Wassermenge, deren Volumen (in cbm) gleich 2 mal Kolbenquerschnitt F (in qm) mal Hub s (in m) ist. Hier ist $F = 0{,}22^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0{,}038$ (qm) und $s = 0{,}6$ (m), das theoretisch bei einer Umdrehung geförderte Volumen also $2 \cdot 0{,}038 \cdot 0{,}6$ cbm. In einer Minute werden daher theoretisch $70 \cdot 2 \cdot 0{,}038 \cdot 0{,}6$ cbm und in einer Stunde $60 \cdot 70 \cdot 2 \cdot 0{,}038 \cdot 0{,}6$ cbm gefördert.

Die wirklich geförderte Menge ergibt sich aus dieser theoretischen durch Multiplikation mit dem „Lieferungsgrad", den man gemäß Bernoulli S. 321[2]) etwa zu 0,9 ansetzen kann. Die gesuchte Fördermenge ist daher:

$$Q = 0{,}9 \cdot 60 \cdot 70 \cdot 2 \cdot 0{,}038 \cdot 0{,}6 = \mathbf{172\ cbm/Std.}$$

12. a) Isolierte Leitung, Aluminium, 95 qmm, gestattet mit Rücksicht auf Erwärmung laut Tabelle des Verbandes Deutscher Elektrotechniker höchstens eine Belastung mit **190** Amp.

b) Der zugelassene Spannungsverlust e beträgt 15 % der Zentralenspannung. Am Motor sind daher noch 85 % der Zentralenspannung vorhanden. Da am Motor eine Spannung E = 220 Volt herrscht, ist also die Zentralenspannung $\frac{220}{0{,}85}$ Volt und der Spannungsverlust $e = \frac{220 \cdot 0{,}15}{0{,}85} = 38{,}8$ Volt.

1) Freytag S. 959. — Dubbel II., S. 210, Fig. 16. — Hütte 1923, II., S. 675.

2) Freytag S. 945. — Dubbel II., S. 196. — Hütte 1923, II., S. 675.

Der spezifische Widerstand ϱ des Aluminiums ist etwa 0,031, sein spezifischer Leitwert also etwa $\frac{1}{0{,}031} \approx 32$ (Kupfer 57).

Der Widerstand der Leitung beträgt daher

$$R = \frac{2 \cdot l \cdot \varrho}{q} = \frac{2 \cdot 400}{32 \cdot 95} = 0{,}263 \text{ Ohm}.$$

Da $i = \frac{e}{R}$ ist, so folgt:

$i = \frac{38{,}8}{0{,}263} = $ **147,4** Amp als die höchste mit Rücksicht auf Spannungsabfall zulässige Stromstärke.

Von den beiden unter a) und b) berechneten Werten der zulässigen Stromstärke gilt natürlich der kleinere, also **147,4** Amp. Mit diesem Strom leistet der Motor

$$\frac{E \cdot i \cdot \eta}{736} \text{ PS} = \frac{147{,}4 \cdot 220 \cdot 0{,}89}{736} = \mathbf{39{,}2\ PS}.$$

13. Wenn P das zulässige Gewicht des Schwungrades in kg bezeichnet, so sind die Auflagedrucke bei den beiden Lagerstellen, da das Schwungrad sich in der Mitte der Achse befindet, je $\frac{P}{2}$ kg. Das größte Biegungsmoment der Achse, das in der Mittelebene des Schwungrades eintritt, beträgt daher:

$$\mathfrak{M}_{\max} = \frac{P}{2} \cdot 135 \text{ cmkg}.$$

Maßgebend ist die Beziehung: „Zulässiges Biegungsmoment $\mathfrak{M}$ (in cmkg) gleich zulässige Biegungsbeanspruchung (k_b in kg/cm²) mal Widerstandsmoment W des betreffenden Querschnittes (in cm³)". Für die Wahl von k_b ist zu beachten, daß infolge der Drehbewegung die Achse immer abwechselnd hin- und hergebogen wird, so daß in der Bachschen Tabelle (Bernoulli S. 178. — Hütte 1923, I., S. 604. — Dubbel I., S. 435. — Freytag S. 90) der Belastungsfall c oder III vorliegt. Für Flußeisen ergibt sich daher als Mittelwert von 300 und 500 der Wert 400 kg/cm². Demnach gilt hier

$$\frac{P}{2} \cdot 135 = W \cdot 400.$$

Bei kreisförmigem Querschnitt mit dem Durchmesser d ist W ungefähr $\frac{d^3}{10}$, so daß sich hier bei $d = 31$ cm ergibt:

$$\frac{P}{2} \cdot 135 = \frac{31^3 \cdot 400}{10}\,; \quad P = \frac{31^3 \cdot 400 \cdot 2}{10 \cdot 135} \approx \mathbf{17650\ kg}.$$

Dies ist demnach das höchstzulässige Gewicht des Schwungrades, wenn nur auf die zulässige Biegungsbeanspruchung gesehen wird. In Wirklichkeit muß jedoch auch auf die Verdrehungsbeanspruchung, auf die Größe der Verdrehung, auf die Größe der Durchbiegung und auf die Vermeidung von Schwingungsresonanzen Rücksicht genommen werden.

14. Zu a). Der Wattverbrauch der Lampe beträgt 110,0·13,57 = 1493 Watt. Dies ist auch zutreffend, wenn die Messungen mit Wechselstrom gemacht sind, weil Glühlampen praktisch induktionsfrei sind, der Wert von $\cos\varphi$ daher hier fast genau gleich 1 ist. Unter dem spezifischen Wattverbrauch oder der Ökonomie der Lampe versteht man den Wattverbrauch pro Normalkerze oder Hefnerkerze (NK oder HK). Er ist also hier:

$$\frac{1493\ \text{Watt}}{2570\ \text{HK}} = \mathbf{0{,}581\ Watt/HK.}$$

Zu beachten ist, ob die Helligkeitsangabe sich auf die „mittlere räumliche Lichtstärke" bezieht oder auf die „mittlere horizontale Lichtstärke". Hier ist die erstere gemeint.

Zu b). Übliche Werte der Ökonomie sind:

für Kohlefadenlampen etwa 3 Watt pro HK der mittleren horizontalen Lichtstärke;

für Metalldraht-Vakuumlampen etwa 1,1 Watt pro HK der mittleren horizontalen Lichtstärke;

für gasgefüllte Metalldrahtlampen etwa 1,1 Watt (bei kleineren Lampen) bis 0,55 Watt (bei großen Lampen) pro HK der mittleren räumlichen Lichtstärke.

15.

Messung Nr.	1	2	3
Stoppuhr ging los	$4^h21^m0^s$	$4^h21^m0^s$	$4^h21^m0^s$
Stoppuhr wurde abgelesen, bzw gestoppt	$4^h56^m0^s$	$11^h25^m0^s$	$4^h58^m0^s$
Zeitdauer seit Beginn der Messung	35^m0^s	$19^h4^m0^s$	$24^h37^m0^s$
Stoppuhr zeigte	4^m32^s	17^m44^s	$16^m12{,}4^s$
Desgl. unter Hinzurechnung der nicht ablesbaren vollen Umläufe des Minutenzeigers . .	34^m32^s	$18^h47^m44^s$	$24^h16^m12{,}4^s$
Stoppuhr zeigt zu	wenig	wenig	wenig
um	28^s	16^m16^s	$20^m47{,}6^s$
desgl. in Sekunden . . .	28^s	976^s	$1247{,}6^s$
Gesamtzahl der von Stoppuhr angezeigten Sekunden . . .	2072^s	$67\,664^s$	$87\,372{,}4^s$

Messung Nr.	1	2	3
Stoppuhr zeigte also um. . .	$\frac{28 \cdot 100}{2072}\,\%$	$\frac{976 \cdot 100}{67664}\,\%$	$\frac{1247{,}6 \cdot 100}{87372{,}4}\,\%$
das ist um	1,35 %	1,44 %	1,43 %
der von ihr angezeigten Zeitdauer zu	wenig	wenig	wenig
Die gesuchte Korrektur beträgt	+ 1,35 %	+ 1,44 %	+ 1,43 %

Von dieser Tabelle wurde zunächst nur die erste Vertikalspalte durchgerechnet. Sie konnte wegen der geringen Zeitdauer keine große Genauigkeit ergeben und scheidet daher für das Endergebnis aus. Aber sie ergab doch den Fehler der Uhr angenähert und ermöglichte den Schluß, daß die bei der zweiten Ablesung abgelesene Angabe der Stoppuhr (17 Min 44 Sek) 18 Std 47 Min 44 Sek bedeutet, und nicht etwa 18 Std 17 Min 44 Sek oder 19 Std 17 Min 44 Sek. Denn die beiden letztgenannten Ablesungen hätten erheblich andere Korrekturen der Uhr ergeben als die erste Messung. (Die erstere hätte ergeben $+\frac{2776 \cdot 100}{65864}\,\%$ $= +\,4{,}2\,\%$, die letztere dagegen $-\frac{824 \cdot 100}{69464}\,\% = -\,1{,}19\,\%$.)

Entsprechend ist auch bei der dritten Ablesung verfahren.

Die genaueste Korrektur ergibt die dritte Messung, weil sie sich über die längste Zeitdauer erstreckt. Sie schließt die erste und zweite Messung mit ein, die ja nur Teilergebnisse der dritten Messung darstellen. Es hätte daher keinen Sinn, aus den Ergebnissen der zweiten und dritten Messung etwa den Mittelwert bilden zu wollen. Daß diese beiden Ergebnisse gut übereinstimmen, ist ein Beweis dafür, daß die Uhr recht gleichmäßig geht.

16. Der Leitwert des Normalwiderstandes beträgt $\frac{1}{0{,}1 \text{ Ohm}}$ $= 10$ Siemens.

Der Leitwert des Instrumentes ist $\frac{1}{1 \text{ Ohm}} = 1$ Siemens.

Der Leitwert von beiden zusammen in Parallelschaltung ist daher $10 + 1 = 11$ Siemens.

Der Widerstand R von Shunt und Instrument zusammen in Parallelschaltung ist folglich $\frac{1}{11 \text{ Siemens}} = \frac{1}{11}\,\Omega$.

Die Spannung E an den Enden dieses Widerstandes ist gemessen zu $95{,}6 \cdot 2 = 191{,}2$ Millivolt $= 0{,}1912$ Volt. Daraus er-

gibt sich entsprechend der Abb. 34 der durch Shunt und Instrument zusammen in Parallelschaltung fließende Gesamtstrom i zu:

Abb. 34.

$$i = \frac{E \text{ Volt}}{R \text{ Ohm}} = \frac{0{,}1912}{\frac{1}{11}} = 0{,}1912 \cdot 11 = \mathbf{2{,}1032\ Amp.}$$

Bemerkung: Man beachte, daß die Vernachlässigung des durch das Instrument fließenden Teiles von i oder die Annahme, daß der Instrumentenwiderstand unendlich groß sei gegenüber dem Ohmwert des Normalwiderstandes, hier einen Fehler der Messung von 9,09 % des richtigen Wertes ergeben würde, während bei Aufgabe Nr 28 diese Vernachlässigung zulässig ist. Vgl. auch Aufgabe Nr 6.

17. Wenn x die zulässige Belastung des Balkens in kg pro laufenden Zentimeter bezeichnet, so ergibt sich aus den angegebenen Literaturstellen für den horizontalen gleichmäßig belasteten Balken von der Länge l (cm) auf 2 Stützen das größte Biegungsmoment zu

$$\mathfrak{M}_{max} = \frac{x\, l^2}{8},$$

so daß also hier mit $l = 500$ cm folgt:

$$\mathfrak{M}_{max} = \frac{250\,000 \cdot x}{8} = 31250\, x \text{ (cmkg).}$$

Gemäß der Beziehung: „zulässiges Biegungsmoment (in cmkg) gleich zulässige Biegungsbeanspruchung (k_b in kg/cm^2) mal Widerstandsmoment W des Querschnittes (in cm^3)“[1]) ergibt sich hier, wenn für Kiefernholz der für Hochbauten zulässige Wert $k_b = 100$ kg/cm^2 eingesetzt wird[2]),

$$31\,250 \cdot x = 100 \cdot W.$$

Für rechteckigen Querschnitt von b cm Breite und h cm Höhe ist $W = \frac{b \cdot h^2}{6}$ (cm^3). (Bernoulli S. 145. — Hütte 1923, I., S. 645. — Dubbel I., S. 479. — Freytag S. 99.)

Danach ergibt sich hier mit $b = 14$ cm und $h = 36$ cm die Beziehung:

$$31\,250 \cdot x = \frac{100 \cdot 14 \cdot 36^2}{6}; \quad x = \frac{100 \cdot 14 \cdot 36^2}{6 \cdot 31\,250} = \mathbf{9{,}7\ kg/cm.}$$

[1]) Bernoulli S. 143. — Hütte 1923, I., S. 631. — Dubbel I., S. 456. Freytag S. 96.

[2]) Bernoulli S. 179. — Hütte 1923, I., S. 609. — Dubbel I., S. 437. — Freytag S. 91.

Die höchstzulässige Belastung pro laufenden Meter der Balkenlänge beträgt daher **970 kg/m.**

18. Zu beachten: 1. Beim Einschalten des Anlassers muß der Schenkelstrom sofort möglichst stark einsetzen, was bei der Anordnung nach Abb. 35 erreicht wird. Beim weiteren Anlassen wird dem Schenkel zwar der Anlaßwiderstand vorgeschaltet; das ergibt aber nur eine geringe Schwächung des Schenkelstromes, weil der Ohmwert des Anlaßwiderstandes klein ist gegenüber dem Schenkelwiderstand und weil der dem Schenkel vorgeschaltete Teil des Anlassers nur von dem (kleinen) Schenkelstrom durchflossen wird, nicht vom Ankerstrom. Der Mangel ist daher unerheblich und kann gegenüber dem Vorteil der einfachen Anlasseranordnung in Kauf genommen werden.

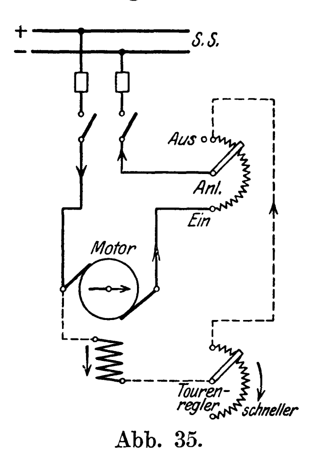


Abb. 35.

2. Eine Verstellung der Tourenregler-Kurbel in der Pfeilrichtung vergrößert den Schenkelstrom - Regulierwiderstand, schwächt daher das Feld und erhöht dadurch die Drehzahl.

19. Da alles dicht ist, hat sich durch das Überlassen das Gesamtgewicht der in A und B zusammen enthaltenen Preßluft nicht geändert. Auch die Temperatur der Preßluft war bei allen 4 Manometerablesungen dieselbe, nämlich die Raumtemperatur von t^0 C.

Es bezeichne nun:

γ das Gewicht in kg von 1 cbdm Luft vom absoluten Druck 1 (kg/cm²) und von der Raumtemperatur t^0C (γ ist demnach für die Dauer des Versuches eine Konstante, weil t konstant bleibt; es wird sich zeigen, daß wir die Zahlenwerte von γ und t gar nicht zu kennen brauchen);

V_A und V_B das Volumen des Luftinhaltes der Flaschen A bzw B, in Litern;

p_{A_1} und p_{B_1} den absoluten Druck der Luft in Flasche A bzw. B vor dem Überlassen, in kg/cm²;

p_{A_2} und p_{B_2} dasselbe nach dem Überlassen;

G_{A_1} und G_{B_1} das Gewicht des Luftinhaltes von A bzw. B vor dem Überlassen, in kg;

G_{A_2} und G_{B_2} dasselbe nach dem Überlassen;

$\gamma_{A_1}, \gamma_{B_1}, \gamma_{A_2}, \gamma_{B_2}$ das Gewicht in kg von 1 cbdm Luft in Flasche A bzw B vor bzw. nach dem Überlassen.

Aus dem Mariotteschen Gesetz folgt, daß bei demselben vollkommenen Gas und bei derselben Temperatur die spezifischen Gewichte sich verhalten wie die zugehörigen absoluten Drucke. Daraus ergibt sich hier:

$$\frac{\gamma_{A_1}(\text{kg/cbdm})}{\gamma(\text{kg/cbdm})} = \frac{p_{A_1}(\text{kg/cm}^2)}{1(\text{kg/cm}^2)} \quad \text{oder} \quad \gamma_{A_1} = \gamma \cdot p_{A_1}\ \text{kg/cbdm};$$

$$\gamma_{A_2} = \gamma \cdot p_{A_2}; \qquad \gamma_{B_1} = \gamma \cdot p_{B_1}; \qquad \gamma_{B_2} = \gamma \cdot p_{B_2}.$$

Das Luftgewicht einer Flasche ergibt sich aus Volumen und spezifischem Gewicht:

$$G_{A_1} = V_A \cdot \gamma_{A_1} = V_A \cdot \gamma \cdot p_{A_1} = \gamma \cdot V_A \cdot p_{A_1}.$$

$$G_{B_1} = \gamma \cdot V_B \cdot p_{B_1}; \quad G_{A_2} = \gamma \cdot V_A \cdot p_{A_2}; \quad G_{B_2} = \gamma \cdot V_B \cdot p_{B_2}.$$

Drückt man jetzt den im ersten Satz der Lösung ausgesprochenen Gedanken in Formeln aus, so folgt:

$$G_{A_1} + G_{B_1} = G_{A_2} + G_{B_2} \qquad \text{oder} \qquad G_{B_1} - G_{B_2} = G_{A_2} - G_{A_1}.$$

Durch Einsetzen der vorstehenden Werte wird daraus:

$$\gamma \cdot V_B \cdot p_{B_1} - \gamma \cdot V_B \cdot p_{B_2} = \gamma \cdot V_A \cdot p_{A_2} - \gamma \cdot V_A \cdot p_{A_1} \quad \text{oder}$$

$$V_B \cdot (p_{B_1} - p_{B_2}) = V_A \cdot (p_{A_2} - p_{A_1}); \quad \frac{V_A}{V_B} = \frac{p_{B_1} - p_{B_2}}{p_{A_2} - p_{A_1}}.$$

In Worten: Die beiden Flaschenvolumina verhalten sich umgekehrt wie die absoluten Beträge der zugehörigen Druckänderungen. Danach läßt sich also das Volumen der Flasche A aus dem durch Länge und Weite gegebenen Volumen von B sehr leicht berechnen: Volumen der Flasche B: $15 \cdot 2{,}3^2\, \pi/4 = 15 \cdot 4{,}15 = 62{,}3$ cbdm. (Man beachte die Einheiten! Hier ist überall als Längeneinheit das dm benutzt, das bei Inhaltsbestimmungen oft handlicher ist als das m oder mm).

Druckänderung (Zunahme) in A: 31,4[1]) — 14,8[1]) = 16,6 at;
Druckänderung (Abnahme) in B: 62,5[1]) — 34,7[1]) = 27,8 at.

Daraus: Volumen von A: $62{,}3 \dfrac{27{,}8}{16{,}6} = 104{,}5$ cbdm.

(Um bei diesem Ansatz Irrtümer zu vermeiden, vergegenwärtige man sich, daß A größer sein muß als B, weil der Druck sich in A weniger geändert hat als in B.)

---

[1]) Die Änderung des absoluten Druckes ist natürlich gleich der des Überdruckes

Da A eine lichte Weite von 1,5 dm und folglich einen lichten Querschnitt von 1,767 dm² hat, so ergibt sich ihre lichte Länge zu $\frac{104{,}5 \text{ cbdm}}{1{,}767 \text{ qdm}} = 59{,}1$ dm oder **5,91 m.**

20. Wenn die Spannung e auf den dreifachen Betrag steigt (6000 Volt gegen 2000 Volt) und dabei die Leistung N sowie $\cos\varphi$ (dessen Wert von der Art der Motoren usw, nicht von der Spannung abhängt) unverändert bleibt, so sinkt der Strom i in jeder Phase der Leitung auf ein Drittel seines vorigen Wertes, weil $N = e \cdot i \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3}$ ist.

Der zugelassene Spannungsabfall ε in der Leitung ist seinem relativen Betrage nach verdoppelt (10 % statt 5 %), seinem absoluten Betrage nach aber versechsfacht, weil auch die Gesamtspannung e verdreifacht wurde ($\varepsilon = \frac{10}{100} \cdot 6000$ statt $\frac{5}{100} \cdot 2000$ Volt). Der lediglich mit Rücksicht auf Spannungsabfall erforderliche Leitungsquerschnitt ist aber bei jeder Stromart bei konstanter Länge, gegebenem Leistungsfaktor $\cos\varphi$ und gegebenem Leitungsmetall proportional der Stromstärke i und umgekehrt proportional dem zugelassenen absoluten Spannungsabfall ε (in Volt, nicht in %!), also dem Ausdruck $\frac{i}{\varepsilon}$. Dieser Ausdruck ist aber, da sein Zähler dreimal kleiner, sein Nenner sechsmal größer wurde, auf $^1/_{18}$ seines vorigen Wertes gesunken. Folglich ist jetzt auch nur ein Querschnitt von $\frac{1}{18} \cdot 600 = 33{,}3$ qmm, oder aufgerundet **35 qmm** erforderlich.

Übrigens würde bei Voraussetzung einer induktions- und kapazitätsfreien Leitung das Ergebnis sich auch dann noch kaum ändern, wenn bei der neuen Spannung sich ein neuer Wert $\cos\varphi$ einstellen sollte. Denn bei gegebener Leistung, Leitung und Spannung, aber veränderlichem Leistungsfaktor würde bei einem neuen (z. B. kleineren) Wert $\cos\varphi_2$ statt $\cos\varphi_1$ zwar der Strom i einen entsprechend anderen (z. B. größeren) Wert i_2 annehmen als der Wert i_1 war, den er bei unverändertem φ_1 hatte, und zwar wäre $i_2 = i_1 \cos\varphi_1/\cos\varphi_2$. Damit würde dann auch der Wert iR (wobei R den Widerstand der Leitung bedeutet) ein anderer, und zwar wäre $i_2 R = i_1 R \cos\varphi_1/\cos\varphi_2$. Der absolute Betrag von ε (in Volt) ist aber mit großer Annäherung nur gleich der Projektion des Vektors iR (der in Phase mit i liegt) auf den Vek-

tor e, also gleich $i\,R\cos\varphi$. Es ist daher

$$\varepsilon_1 \approx i_1 R \cos\varphi_1 \quad \text{und} \quad \varepsilon_2 \approx i_2 R \cos\varphi_2 \approx \frac{i_1 R \cos\varphi_1 \cos\varphi_2}{\cos\varphi_2} \approx \varepsilon_1 .$$

Demnach ist der Wert von φ (bei gegebener Leitung, Leistung und Spannung) fast ohne Einfluß auf die Größe von ε.

Besonders zu prüfen wäre noch, ob der gefundene Querschnitt von 35 qmm mit Rücksicht auf Erwärmung genügt; doch sind die dazu erforderlichen Unterlagen nicht gegeben.

21. Auf den als einen einzigen Körper betrachteten Flacheisen-Doppelstab wirken drei Kräfte: die Last $Q = 250$ kg senkrecht abwärts, und die von den beiden Nieten auf den Stab ausgeübten beiden Kräfte A und B (vgl die Abb. 36), gemessen in kg.

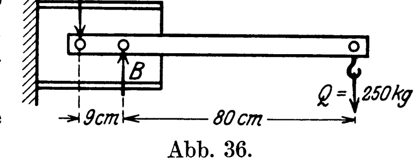


Abb. 36.

Da der Stab in Ruhe bleibt, ist

1. die Summe aller auf ihn wirkenden Kräfte oder auch die Summe aller Kraftkomponenten in einer bestimmten Richtung, z. B. in senkrechter Richtung, gleich Null, und

2. die Summe aller Drehmomente in bezug auf eine beliebige Achse, z. B. in bezug auf die Achse des Nietes B als Drehachse, gleich Null.

Die erstere Beziehung lautet in Buchstaben: $Q + A - B = 0$; die zweite lautet: $Q \cdot 80 - A \cdot 9 = 0$. (Man beachte, daß die Kraft B in bezug auf die Nietachse B keinen Hebelarm und daher auch kein Drehmoment hat.)

Aus der zweiten Gleichung folgt

$$9A = 80 \cdot Q = 80 \cdot 250 = 20000 \text{ cmkg};\ A = \frac{20000 \text{ cmkg}}{9 \text{ cm}} = \mathbf{2222\ kg.}$$

Setzt man diesen Wert in die erste Gleichung ein, so ergibt sich:

$$Q + 2222 = B;\ B = 250 + 2222 = \mathbf{2472\ kg.}$$

Mit denselben Kräften (von 2222 kg und 2472 kg), mit denen die Nieten auf den Stab drücken, drückt auch der Stab auf die Nieten, nur in umgekehrter Richtung, und versucht, sie abzuscheren. Auf diese Scherkräfte sind daher die Nieten zu berechnen. Da es sich aber nicht lohnt, wegen dieses geringen Unterschiedes der beiden Kräfte A und B auch die beiden Nietstärken verschieden zu wählen, so nimmt man sie gleich stark und berechnet sie für die größere Kraft, also für 2472 kg.

Bezeichnet d den Nietdurchmesser in cm und wird eine Scherbeanspruchung der Niete $k_s = 600$ kg/cm² zugelassen, so gilt, da bei der Zerstörung jedes Niet an zwei Stellen abgeschert werden müßte (an der vorderen und an der hinteren Fläche des Trägersteges), die Beziehung: $2472 = 2 \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \cdot 600$ kg, woraus dann folgt: $\frac{d^2 \pi}{4} = \frac{2472}{2 \cdot 600} = 2{,}14$ cm²; $d = 1{,}65$ cm oder rund **17 mm.** Es sind daher Niete von 17 mm Bolzenstärke zu verwenden.

22. Zu 1. Je 4 in Reihe geschaltete Lampen bilden eine Gruppe. Jede Gruppe erhält ihre eigene Leitung, einen Vorschaltwiderstand, einen (zweckmäßig doppelpoligen) Ausschalter (etwa Dreh-Ausschalter) und zwei Sicherungen. Diese 3 Schalter und 6 Sicherungen sind etwa auf einer Verteilungstafel vereinigt und dort an gemeinsame Sammelschienen angeschlossen. Die Tafel erhält ihren Strom aus dem Netz durch eine zweipolige Leitung, die etwa zwei Sicherungen, einen Stromzeiger und einen (etwa einpoligen) Schalter (etwa Hebelschalter) enthält. Danach ergibt sich das Schaltbild gemäß Abb. 37.

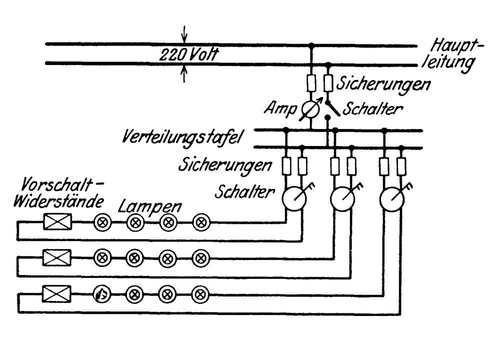


Abb. 37.

Zu 2. Wenn in dem Schaltbild der Abb. 38 die Strecke yz den gesamten Leitungswiderstand einer Lampengruppe darstellt, zv den (scheinbaren) Widerstand der 4 Lampen ohne jede Leitung,

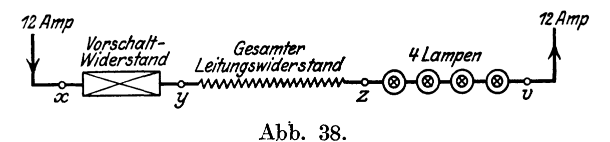


Abb. 38.

xy den Vorschaltwiderstand einer Gruppe, so daß die Punkte x und v als unmittelbar an den Sammelschienen der Verteilungstafel liegend anzusehen sind und der Strom von 12 Amp die ganze Strecke $xyzv$ durchfließt, so beträgt die Spannung zwischen x

und v (da diese Punkte fast widerstandslos mit den beiden Polen des Netzes verbunden sind,) 220 Volt.

Die Spannung zwischen z und v beträgt, da jede Lampe bei ordnungsmäßigem Brennen 43 Volt verbraucht, $4 \cdot 43 = 172$ Volt.

Für die Spannung zwischen x und z, das ist die im Vorschaltwiderstand und in der Leitung zusammen vernichtete Spannung, verbleibt daher ein Rest von $220 - 172 = 48$ Volt.

Der Widerstandswert (in Ohm) von Vorschaltwiderstand und Leitung zusammen ergibt sich daraus zu $\frac{48 \text{ Volt}}{12 \text{ Amp}} = 4{,}0$ Ohm.

Der Widerstand der Leitung allein folgt aus ihrer Länge ($l = 270$ m), ihrem Material $\left(\varrho = 0{,}15 \frac{\text{Ohm} \cdot \text{qmm}}{\text{m}}\right)$ und ihrem Querschnitt ($q = 5^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 19{,}6$ qmm) zu $\frac{270 \cdot 0{,}15}{19{,}6} = 2{,}07$ Ohm.

Der Vorschaltwiderstand muß daher noch einen Ohmwert von $4{,}0 - 2{,}07 =$ **1,93 Ohm** erhalten. Von solchen Widerständen sind 3 Stück erforderlich, nämlich einer für jede Lampengruppe. Die Widerstände pflegen regulierbar zu sein (durch Verschieben einer Schelle); es schadet daher nicht, wenn ihr Ohmwert etwas reichlich gewählt wird (erhebliche Aufrundung erhöht natürlich den Preis); eine mäßige Aufrundung ist aber zweckmäßig, damit der Widerstand auch noch ausreicht, wenn die zugrunde gelegten Werte von l, ϱ, q, Lampenspannung und Netzspannung nicht genau stimmen sollten. So bestelle man etwa 3 Widerstände für je 2 Ω.

Anzugeben ist ferner, wieviel Strom sie dauernd vertragen müssen (ohne übermäßig heiß zu werden,) und ob sie für Innenräume oder fürs Freie bestimmt sind, da sie im letzteren Falle regensicher gekapselt sein müssen. Die Bestellung kann also etwa lauten: Drei Bogenlampen-Vorschaltwiderstände fürs Freie von je 2 Ohm für 12 Amp.

23. Zu a. Die Belastung besteht aus

1. belasteter Schale 3000 kg.

2. Seilgewicht für 800 m, vorläufig geschätzt zu 100 kg pro 100 m, gibt 800 kg.

3. Zuschlag zu 1. und 2. für Verzögerung.

Am oberen Seilende hängen 3800 kg.

Deren Masse beträgt $\frac{3800}{9{,}81} =$ ca. 380 technische Masseneinheiten.

Die Verzögerung beträgt 2 m/sek^2.

Die Verzögerungskraft ist also $2 \cdot 380 = 760$ kg.

Die Gesamtbelastung des Seiles ist daher: $3000 + 800 + 760 \approx 4600$ kg.

Die Sicherheit soll 4fach sein.

Die Tragfähigkeit (Bruchlast) muß also $4 \cdot 4600 = 18400$ kg betragen.

Dafür ergibt die Tabelle im Bernoulli ein Seil von 21 mm ∅.

Kontrolle: Dies Seil wiegt 161 kg pro 100 m, also 1300 kg für 800 m. Die Belastung wird also $\left(1 + \frac{2}{9{,}81}\right)(3000 + 1300) \approx 5150$ kg. Das Vierfache davon ist 20600 kg. Das Seil von 21 mm ∅ mit 20245 kg Bruchlast ist also knapp. Besser wählt man das nächststärkere.

Zu b. Für das schwächste in der Tabelle enthaltene Seil ergibt sich der tragende Querschnitt zu:

$$q_1 = 42 \cdot 1^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 33{,}2 \text{ qmm}.$$

Entsprechend ist für das stärkste in der Tabelle enthaltene Seil:

$$q_2 = 84 \cdot 1{,}6^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 170 \text{ qmm}.$$

Daraus und aus den übrigen Angaben der Tabelle ergibt sich die folgende Zusammenstellung:

	Querschnitt	Gewicht für 100 m	Gewicht pro 100 m pro qmm	Bruchlast	Bruchlast pro qmm
erstes Seil	33,2 qmm	32 kg	0,96 kg	3990 kg	120 kg
letztes Seil	170 „	161 „	0,95 „	20245 „	119 „
Für die Extrapolation ist daher zu rechnen mit den Werten:			0,95 kg		119 kg

Der Querschnitt des gesuchten Seiles heiße q (qmm).

Das Seilgewicht ist dann $= 8 \cdot 0{,}95\, q$ kg.

Die Schale wiegt 8000 kg.

Die Gesamtbeanspruchung des Seiles beim Bremsen wird daher $(8000 + 8 \cdot 0{,}95\, q) \cdot 1{,}2$ kg.

Die Bruchlast beträgt $119\, q$ kg.

Daraus und aus der Forderung einer sechsfachen Sicherheit folgt: $119\, q = 6\,(8000 + 8 \cdot 0{,}95\, q)\, 1{,}2 = 57500 + 55\, q$;

$64\, q = 57500$; $q = \mathbf{900\ mm^2}$.

Kontrolle: Seilgewicht pro 100 m: $900 \cdot 0{,}95 = 855$ kg.

Daher Seilgewicht $= 8 \cdot 855 = 6800$ kg; Gesamtlast 14800 kg.

Kraft oben im Seil beim Bremsen: $1{,}2 \cdot 14800 = 17800$ kg.
Bruchlast: $119 \cdot 900 = 107000$ kg.

$$\text{Sicherheitsgrad} = \frac{\text{Bruchlast}}{\text{höchste Beanspruchung}} = \frac{107000}{17800} = 6,$$

wie verlangt.

24. Bezeichnet i den in die Dreherei (in einer Phase) fließenden Strom in Amp, e die Betriebsspannung in der Dreherei (zwischen je zwei Phasen) in Volt, φ den für den Verbrauch in der Dreherei zutreffenden Phasenverschiebungswinkel zwischen Strom und Spannung, und N den Verbrauch in der Dreherei in Watt, so ist $N = i \cdot e \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi$.

Von diesen Größen ist nun i zu 123 Amp und e zu 508 Volt gemessen. Daher kann $\cos\varphi$ leicht bestimmt werden, wenn auch noch N bekannt ist. Der Wert der Leistung N (in Watt) folgt aber aus dem durch die Zählerablesung festgestellten Arbeitsverbrauch (in Wattstunden) und der dazu erforderten Zeit (in Stunden). Somit ergibt sich der folgende Rechnungsgang:

Zählerstand am Ende der Beobachtungszeit:	279035;
Zählerstand am Anfang der Beobachtungszeit:	278549;

Fortschritt des Zählers innerhalb der Beobachtungszeit: 486 Einheiten des letzten Zifferblattes;

Bedeutung einer Einheit des letzten Zifferblattes: 0,5 kWStd.

Der Arbeitsverbrauch in der Beobachtungszeit ist daher $486 \cdot 0{,}5 = 243$ kWStd oder 243000 Wattstunden.

Die Dauer der Beobachtungszeit betrug, da 28 Minuten $= \frac{28}{60} = 0{,}468$ Stunden sind, 3,468 Stunden.

Die Leistung N war daher $\frac{243000}{3{,}468}$ Watt $= 70100$ Watt.

Daraus folgt dann: $\cos\varphi = \frac{N}{i \cdot e \cdot \sqrt{3}} = \frac{70100}{123 \cdot 508 \cdot \sqrt{3}} \approx 0{,}65.$

25. Die gesamte Übersetzung, d. h. das Verhältnis der beiden Drehzahlen, beträgt $\frac{1200}{150} = 8$. Es empfiehlt sich, dies Verhältnis derart in 2 Übersetzungen zu zerlegen, daß beide Übersetzungszahlen gleich groß sind. Daher muß jede einzelne Übersetzung gleich $\sqrt{8} = 2{,}83$ sein.

In der beistehenden Abb. 39 bedeuten D_1 und D_4 die Durchmesser der Transmissions-Scheibe bzw. der Dynamoscheibe, D_2

und D_3 die Durchmesser der beiden auf der Zwischen-Vorgelegewelle festgekeilten Riemenscheiben. Es muß daher gelten:

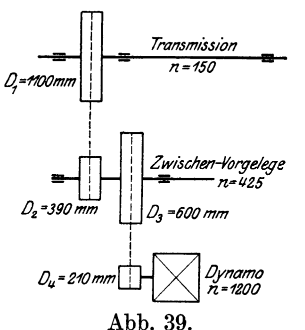


Abb. 39.

$$\frac{D_1}{D_2} = 2{,}83; \; D_2 = \frac{D_1}{2{,}83} = \frac{1100}{2{,}83}$$
$$= 389 \text{ mm oder rund } \mathbf{390\ mm};$$
$$\frac{D_3}{D_4} = 2{,}83; D_3 = D_4 \cdot 2{,}83 = 210 \cdot 2{,}83$$
$$= 594 \text{ mm oder rund } \mathbf{600\ mm.}$$

Die Drehzahl des Zwischenvorgeleges beträgt dann $150 \cdot 2{,}83 = 425$ Umdr./min.

Die gefundenen Werte sind in die Abb. 39, die die Gesamtanordnung schematisch (nicht maßstäblich) darstellt, eingetragen.

26. „Positiver Temperaturkoeffizient" besagt, daß der Widerstand bei steigender Temperatur wächst (Kosack S. 5 bis 7. — Hütte 1923, II., S. 972. — Bernoulli S. 520. — Dubbel II., S. 753. — Freytag S. 1066). Die Temperatur eines festen Körpers (hier Kohle bzw. Wolfram) ist bekanntlich bei Weißglut höher als bei Rotglut. Es bleibt also nur zu zeigen, in welchem Sinne sich der Widerstand der beiden Lampen zwischen Rotglut und Weißglut ändert.

Die einzelnen Widerstandswerte R ergeben sich aus den gemessenen Werten von E und J leicht gemäß $R\,(\text{Ohm}) = \frac{E\,(\text{Volt})}{J\,(\text{Amp})}$ und sind in die folgende Tabelle eingetragen:

	Widerstand rotglühend Ω	Widerstand weißglühend Ω	Zunahme des Widerstandes von rot bis weiß
Kohlefadenlampe	$\frac{112{,}3}{0{,}0164} = 6850\ \Omega$	$\frac{225{,}0}{0{,}0395} = 5700\ \Omega$	$-$ 1150 Ω oder $-$ 17 %
Metalldrahtlampe	$\frac{55{,}2}{0{,}129} = 28\ \Omega$	$\frac{113{,}2}{0{,}243} = 466\ \Omega$	$+$ 38 Ω oder $+$ 9 %

In der letzten Spalte ist die Änderung von R (und zwar $R_{\text{weiß}} - R_{\text{rot}}$) nach Vorzeichen und Größe, und zwar in Ohm und in % von R_{rot} berechnet. Aus diesen Werten ergibt sich, daß die Kohlefadenlampe einen großen negativen Temperaturkoeffizienten hat, die Metalldrahtlampe dagegen einen positiven und kleineren.

27. Die abzubremsenden Massen sind:

das Seil	2000 kg	auf Seil-Mitte reduziert
2 Seilscheiben à 3 t, zusammen . . .	6000 kg	
die Köpescheibe mit Motoranker und Bremsscheibe	6000 kg	
2 Körbe, 8 t + 6 t	14000 kg	
zusammen	28000 kg	

oder $\frac{28000}{9{,}81} = 2860$ technische Masseneinheiten.

Die Bewegungsenergie oder „Wucht" zu Beginn des Bremsens beträgt

$$m \cdot \frac{v^2}{2} = 2860 \cdot \frac{12^2}{2} = 206000 \text{ mkg.}$$

Dies Arbeitsvermögen wird in der Bremsperiode verbraucht, und zwar:

1. zur Hebung der Gewichtsdifferenz der beiden Körbe um 40 m. Dafür sind nötig: $2000 \cdot 40 = 80000$ mkg;

2. zur Überwindung der Reibung. Während die Körbe einen Weg von 40 m machen, bewegt sich der Bremsscheiben-Umfang um $40 \cdot \frac{6}{5} = 48$ m. Die bremsende Kraft ist $P \cdot \mu = 0{,}3\,P$ kg.

Die Bremsarbeit wird daher $0{,}3 \cdot P \cdot 48 = 14{,}4\,P$ mkg. Folglich gilt:

$$206000 = 80000 + 14{,}4\,P; \quad P = \frac{126000}{14{,}4} = \mathbf{8800 \text{ kg.}}$$

28. Zu 1. Die Messung erfolgt in der Weise, daß das Instrument parallel zum Normalwiderstand („Nebenwiderstand", „Shunt") gelegt wird und der zu messende Strom diese Kombination durchfließt, wobei sein größter Teil durch den Nebenwiderstand geht und nur ein kleiner Teil durch das Instrument. Hiernach ergibt sich das in Abb. 40 dargestellte Schaltbild für die Messung.

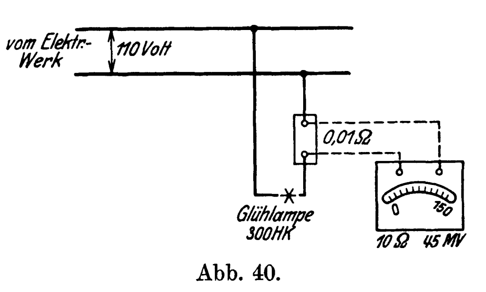


Abb. 40.

Zu 2. Eine Metallfadenlampe erfordert für je eine Hefnerkerze (HK) etwa 1 Watt (Kosack S. 239. — Bernoulli S. 570. — Hütte 1923, II., S. 949. — Dubbel II., S. 829. — Freytag S. 1132).

Die hier vorliegende Lampe braucht daher etwa 300 Watt oder, da sie mit 110 Volt brennt, etwa $\frac{300 \text{ Watt}}{110 \text{ Volt}} = 2{,}7$ Amp. Dies ist demnach der ungefähre Betrag des zu messenden Stromes.

Das Instrument schlägt, wie seine Aufschrift besagt, dann voll aus, wenn zwischen seinen Klemmen eine Spannung von 45 mV herrscht. Durch das Instrument fließt dann ein Strom von $\frac{0{,}045 \text{ Volt}}{10 \text{ Ohm}} = 0{,}0045$ Amp oder 4,5 mA. (Diesen dem vollen Ausschlage seines Zeigers entsprechenden Strom kann das Instrument natürlich ohne Gefahr der Überhitzung vertragen, wenn es von einem gewissenhaften Fabrikanten stammt.) Da die Spannung zwischen den Instrumentenklemmen zugleich die Spannung zwischen den beiden Klemmen des Normalwiderstandes ist, so fließen bei vollem Instrumentausschlag (das ist höchster zulässiger Beanspruchung des Instrumentes) durch den Normalwiderstand $\frac{0{,}045 \text{ Volt}}{0{,}01 \text{ Ohm}} = 4{,}5$ Amp. Da nun der Strom der Glühlampe geringer ist (nämlich, wie vorhin berechnet, etwa 2,7 Amp), so genügt das Instrument zur Messung des Lampenstromes.

Zu 3. Bei einem Ausschlag des Instrumentes von 150^0 gehen, wie unter 2. gezeigt wurde, durch das Instrument 0,0045 Amp, durch den Normalwiderstand 4,5 Amp, zusammen 4,5045 Amp. Je ein Skalenteil des Ausschlages bedeutet daher bei dieser Kombination eine Stromstärke in der Glühlampe von $\frac{4{,}5045}{150}$ $=$ **0,03003 Amp.** (Setzt man $1^0 = 0{,}03$ Amp, indem man den Strom im Instrument vernachlässigt bzw. den Widerstand des Instrumentes als unendlich groß gegenüber dem des Nebenwiderstandes annimmt, so macht man in diesem Falle einen Fehler von $1\,^0/_{00}$, der zulässig sein mag. In manchen ähnlichen Fällen würde die entsprechende Vernachlässigung jedoch unzulässig große Fehler ergeben, vgl. Aufgabe 16).

Zu 4. Da der zu messende Strom gemäß 2. etwa 2,7 Amp beträgt und da 1^0 gemäß 3. etwa 0,03 Amp bedeutet, so wird sich ein Ausschlag von etwa $\frac{2{,}7}{0{,}03} = 90^0$ ergeben, also ein „guter Ausschlag".

Vgl. auch Aufgabe 16 und 6.

29. Bezeichnet P die von einem Tragzapfen zu tragende Last in kg, l seine Länge in cm, d seinen Durchmesser in cm, k_b die

zugelassene Biegungsbeanspruchung in kg/cm², k die zugelassene spezifische Flächenpressung in kg/cm², so ergibt die Berechnung auf Einhaltung der zugelassenen Biegungsbeanspruchung die Beziehung: $\frac{P \cdot l}{2} \leqq \frac{k_b \cdot d^3}{10}$, und die Berechnung auf Einhaltung der zugelassenen Flächenpressung die Beziehung: $P \leqq k \cdot l \cdot d$.

Die Verbindung der beiden Wünsche, daß sowohl die Biegungsbeanspruchung als auch die Flächenpressung gerade die zugelassenen Werte erreichen (gemäß Bernoulli S. 203, 204. — Dubbel I., S. 654. — Freytag S. 236), ergibt dann die beiden Beziehungen:

$$P = kld \text{ und } \frac{l}{d} = \sqrt{0{,}2\,\frac{k_b}{k}}\,.$$

Hier ist nun gegeben: $k_b = 600$, $k = 60$, so daß sich ergibt:

$$\frac{l}{d} = \sqrt{0{,}2\,\frac{600}{60}} = \sqrt{2} = 1{,}414\,.$$

P, die Belastung des Zapfens in kg, ergibt sich aus dem Schwungradgewicht von 8000 kg, das sich auf die beiden Zapfen im umgekehrten Verhältnis der Abstände verteilt, also im Verhältnis $^2/_3 : {}^1/_3$ oder $2:1$. Der höher belastete Zapfen trägt daher $^2/_3$ der Gesamtlast, also $^2/_3 \cdot 8000 = 5333$ kg, so daß einzusetzen ist:

$$P = 5333 = kld = 60\,ld; \quad ld = \frac{5333}{60} = 88{,}8\,\text{cm}^2.$$

Gefunden war bereits $\frac{l}{d} = 1{,}414$. Die Multiplikation ergibt:

$$l^2 = 88{,}8 \cdot 1{,}414 = 126; \; l = \sqrt{126} = \mathbf{11{,}2\ cm};$$

$$d = \frac{88{,}8}{l} = \frac{88{,}8}{11{,}2} = \mathbf{7{,}93\ cm.}$$

Als dritte Forderung kommt hinzu, daß die durch die Zapfenreibung erzeugte Wärme hinreichend gut abgeführt werden kann. Zu diesem Zweck muß nach Bach (Bernoulli S. 204. — Dubbel I., S. 654. — Freytag S. 237) die Beziehung gelten: $l \geqq \frac{P \cdot n}{w}$, wobei n die Drehzahl pro Minute und w eine von Form und Art der Lagerkonstruktion abhängige Erfahrungszahl bezeichnet, die je nach diesen Verhältnissen in weiten Grenzen schwanken kann. Sie soll hier gemäß den Angaben der Aufgabe mit 80000 angesetzt werden, was eine sehr hohe Zahl ist, d. h. eine sehr gute Abkühlung voraussetzt.

Die gefundenen Werte für l und d sind nun daraufhin nachzuprüfen, ob sie dieser Bedingung genügen. In diesem Fall können

sie gewählt werden und ergeben dann die in bezug auf Ausnutzung des Zapfenmaterials günstigsten Abmessungen, weil dann sowohl die Biegungsbeanspruchung als auch die Flächenpressung die höchsten zulässigen Werte erreicht.

Sollte sich dagegen ergeben, daß die Bedingung für die Abführung der Wärme nicht erfüllt ist, so müßte l größer gewählt werden als vorhin errechnet, nämlich mindestens so groß, daß es die Wärmeleitungsbedingung gerade eben erfüllt. In diesem Fall muß dann auch der Durchmesser d so vergrößert werden, daß er der Biegungsgleichung $\frac{P \cdot l}{2} = \frac{k_b \cdot d^3}{10}$ wieder genügt, wobei für k_b der zugelassene Wert von 600 einzusetzen ist.

Eine nochmalige Nachrechnung auf Einhaltung des vorgeschriebenen Wertes der Flächenpressung k ist dann nicht erforderlich, da sie sowohl wegen der Vergrößerung von l als auch wegen der Vergrößerung von d gesunken ist und daher dann sicher niedriger als 60 kg/cm² liegt.

Im vorliegenden Fall ergibt die Formel für die Wärmeabführung die Bedingung $l \geqq \frac{5333 \cdot 180}{80000} \geqq 12$.

Demnach ist d nicht zu 11,2 cm, sondern zu 12 cm zu wählen, um die genügende Wärmeabführung sicherzustellen. Die Biegungsbedingung ergibt jetzt mit $l = 12$ cm und $k_b = 600$ kg/cm² die Forderung $\frac{5333 \cdot 12}{2} = \frac{600 \cdot d^3}{10}$. Daraus folgt dann

$$d^3 = \frac{5333 \cdot 12 \cdot 10}{2 \cdot 600} = 533{,}3; \quad d = \mathbf{8{,}1\ cm}$$

(gegenüber 7,9 nach der ersten Rechnung).

Endgültig sind daher mindestens die Maße $l = 12$ cm und $d = 8{,}1$ cm zu wählen.

Falls man über diese Maße noch hinausgehen will, so beachte man, daß mit Rücksicht auf die Biegungsgleichung eine Vergrößerung von l nicht ohne gleichzeitige Vergrößerung von d zulässig ist, wohl aber umgekehrt eine Vergrößerung von d ohne Vergrößerung von l.

30. Zu a) Die Spannung am Anfang der Leitung (Zentrale) beträgt 220 Volt. Das Maximum an Reichweite wird erreicht, wenn man den zulässigen Spannungsabfall voll ausnutzt, also mit 10 % Spannungsverlust rechnet. Dann gehen in der Leitung $0{,}1 \cdot 220 = 22$ Volt verloren, so daß beim Verbraucher nur noch $220 - 22 = 198$ Volt herrschen.

Sollen bei dieser Spannung 50 kW oder 50000 Watt geliefert werden, so muß die Stromstärke $i = \frac{50000}{198} = 252$ Amp sein. (In bezug auf Erwärmung verträgt ein Niederspannungs-Einfach-Bleikabel mit Kupferseele von 150 qmm bei Verlegung im Erdboden gemäß den empirisch gefundenen Tabellen des V. D. E. bis zu 510 Amp, genügt also in dieser Hinsicht für den Strom von 252 Amp durchaus; vgl. z. B. Vorschriften und Normen des V. D. E. 1923, S. 309).

Der Spannungsverlust ε (in Volt), die Reichweite l (in Metern) (das ist die Streckenlänge!, die gesamte Leitungslänge ist $2\,l$!), die Stromstärke i (in Amp), der Leitungsquerschnitt q (in mm²), und der spezifische Widerstand ϱ des Leitungsmetalles $\left(\text{in } \frac{\text{Ohm} \cdot \text{Meter}}{\text{qmm}}, \text{ bei Kupfer etwa } \varrho = \frac{1}{57}\right)$ stehen zu einander in der Beziehung: $\varepsilon = i\,R = \frac{i \cdot \varrho \cdot 2 \cdot l}{q}$. Daraus wird hier durch Einsetzen der bekannten Werte: $22 = \frac{252 \cdot 2 \cdot l}{57 \cdot 150}$, woraus dann für die Reichweite l folgt:

$$l = \frac{22 \cdot 57 \cdot 150}{252 \cdot 2} = \mathbf{374\ m.}$$

Zu b) Bei Aluminium verträgt das Kabel gemäß der genannten Tabelle nur 390 Amp, reicht also für die 252 Amp ebenfalls aus. Der Wert von ϱ ist jetzt etwa 0,03. In dem Ausdruck für l tritt also jetzt an die Stelle des Faktors 57 der Faktor $\frac{1}{0{,}03} = 33{,}3$. Die Reichweite wird daher im Verhältnis von $\frac{33{,}3}{57} = 0{,}585$ kleiner als vorhin, mithin gleich $0{,}585 \cdot 374 = \mathbf{219\ m}$.

31. Aus dem Zylinderdurchmesser von 3 dm folgt der Zylinderquerschnitt $F = 7{,}069$ dm², während die Kolbenstange bei einem Durchmesser von 0,7 dm einen Querschnitt $f = 0{,}385$ dm² hat.

Aus der Angabe, daß nur eine einzige Kolbenstangen-Stopfbüchse vorhanden ist, folgt, daß die Kolbenstange nur auf einer Zylinderseite in Betracht kommt.

Die bei einem Hub von 5 dm pro Umdrehung theoretisch geförderte Wassermenge beträgt daher: für die eine Zylinderseite $7{,}069 \cdot 5{,}00$ Liter, für die andere Zylinderseite $(7{,}069 - 0{,}385) \cdot 5{,}00$ Liter, zusammen also $(14{,}138 - 0{,}385) \cdot 5{,}00 = 13{,}753 \cdot 5{,}00 = 68{,}77$ Liter.

Daraus ergibt sich bei 50 Umdrehungen pro Minute und bei einem Lieferungsgrad von 0,9 eine Sekundenleistung von

$$\frac{68{,}77 \cdot 50 \cdot 0{,}9}{60} = \mathbf{51{,}6\ Liter/sek}$$

(oder 3,09 cbm/min oder 185,4 cbm/Std.).

32. Zu 1. Ist J die Lichtstärke (Intensität, Leuchtkraft) der Glühlampe (senkrecht nach unten)[1] in Hefnerkerzen (HK), und r die Entfernung zwischen Lampe und Schreibtisch in Metern, so ist die Beleuchtungsstärke (Helligkeit) auf dem Schreibtisch in Lux, wenn die Lichtstrahlen den Tisch senkrecht treffen, $E = \frac{J}{r^2}$ (Kosack S. 237. — Hütte 1923, II., S. 937, 940. — Dubbel II., S. 828. — Freytag S. 1131).

Da hier E mindestens gleich 20 Lux sein soll und $r = 1{,}5$ m ist, so folgt für J als Mindestwert: $J = Er^2 = 20 \cdot 1{,}5^2 = 45$ HK. Zu wählen ist die nächst größere gängige Type von **50 HK.**

Zu 2. Metalldrahtlampen haben einen Wattverbrauch von etwa 1,1 Watt pro HK ihrer Intensität in der günstigsten Richtung[1]). (Kosack S. 239. — Hütte 1923, II., S. 949. — Dubbel II., S. 829. — Freytag S. 1132. — Bernoulli S. 570). Diese Lampe braucht daher etwa $1{,}1 \cdot 50 = 55$ Watt oder in der Stunde etwa 0,055 kWStd, so daß ihr Stromverbrauch pro Stunde etwa $0{,}055 \cdot 40 =$ **2,2 Goldpfennige** kostet.

Zu 3. Wird der Abstand r von 1,5 auf 0,8 m verringert, so kann die Intensität der Lampe im Verhältnis $\left(\frac{0{,}8}{1{,}5}\right)^2 = 0{,}275$ verringert werden. Es genügt also dann eine Lampe von $0{,}275 \cdot 45 = 12{,}4$ HK oder, aufgerundet, **16 HK.** Die Stromkosten betragen dann pro Stunde etwa $\frac{16 \cdot 1{,}1 \cdot 40}{1000} =$ **0,7 Goldpfennig.**

---

[1]) Die Lichtstärke einer Lampe ist in den verschiedenen Richtungen sehr verschieden, so daß die Richtung mit angegeben werden muß. Bei Lampen mit normaler Anordnung des Leuchtdrahtes liegt das Maximum in der Richtung senkrecht zur Lampenachse. Solche Lampen würde man daher in diesem Falle zweckmäßig horizontal montieren. Bei Spiraldrahtlampen ist dagegen die Richtung des Maximums eine andere. Die von Fabrikanten angebene Lichtstärke ist im allgemeinen bei Vakuumlampen die mittlere horizontale Lichtstärke (der Mittelwert aus allen Richtungen senkrecht zur Lampenachse), bei gasgefüllten Lampen dagegen die mittlere räumliche Lichtstärke (der Mittelwert aus allen Richtungen). Bei der Angabe 1,1 Watt/HK ist eine Metalldraht-Vakuumlampe mit normaler Fadenanordnung und die mittlere horizontale Lichtstärke zugrunde gelegt. In die Rechnung ist jedenfalls diejenige Intensität einzusetzen, die die Lampe in der Richtung nach dem Arbeitsplatz hat.

33. Zu a) Wenn das Blech, aus dem der Stab geschnitten ist hinreichend lang gewesen wäre, so daß keine Nietnaht erforderlich wäre, so wird das Material nur auf Zug beansprucht, wobei gemäß den polizeilichen Vorschriften für Baukonstruktionen (Bernoulli S. 179. — Hütte 1923, I., S. 609. — Dubbel I., S. 436. — Freytag S. 91.) eine spezifische Beanspruchung von 1200 kg/cm² zulässig ist. Da der Stab eine Dicke von 1,4 cm und eine Breite von 22 cm, also einen Querschnitt von $1{,}4 \cdot 22$ cm² hat, würde er in diesem Fall belastet werden dürfen mit $1{,}4 \cdot 22 \cdot 1200 =$ **37000 kg.**

b) In der beistehenden Abbildung 41 ist die beschriebene Nietverbindung dargestellt. Daraus ergibt sich, daß eine Zerstörung der Verbindung das Abscheren von mindestens 12 Nietquerschnitten bedingt, indem nämlich mindestens 6 Niete in je 2 Querschnitten abgeschert werden müssen. Jeder einzelne Nietquerschnitt hat eine Fläche von $d^2 \pi/4$ cm², also hier bei einem Nietdurchmesser von 2 cm eine Fläche von 3,14 cm². Da jede Scherfläche mit 475 kg/cm² beansprucht werden darf, so verträgt demnach die ganze Nietnaht eine Zugbelastung von $12 \cdot 3{,}14 \cdot 475 =$ **17900 kg.**

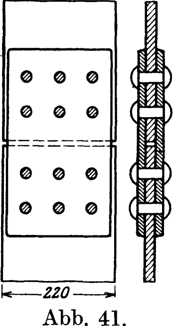


Abb. 41.

Die Tragfähigkeit des Stabes mit Nietnaht beträgt daher bei dieser Konstruktion nur $\frac{17{,}9 \cdot 100}{37}\,\% = 48{,}5\,\%$ der Tragfähigkeit eines durchgehenden Stabes von gleichen Abmessungen, aber ohne Naht. Zwecks Erreichung eines günstigeren Verhältnisses zwischen beiden Zahlen würde es daher zweckmäßig gewesen sein, die Zahl der Nieten größer zu wählen, und die Nietung etwa dreireihig auszuführen.

34. Außer der Anzahl ist anzugeben: die Lampenart (Metalldrahtlampen mit Vakuum oder mit Gasfüllung, Kohlefadenlampen), die Kerzenstärke, die Betriebsspannung, die Befestigungsart (Sockelart: Normal-Edison, Klein-Edison, Normal-Swan oder Normal-Bajonett, Klein-Swan usw.), die Glasform (birnenförmig oder kugelförmig), die Glasoberfläche (klar, mattiert, halbmattiert). Die Stromart braucht nicht angegeben zu werden, da dieselbe Lampe sowohl für Wechselstrom wie für Gleichstrom verwendet werden kann, wenn nur die Spannung zutrifft. Die gasgefüllten Lampen werden nicht nach der Helligkeit bezeichnet, sondern nach ihrem Wattverbrauch.

Die erforderliche Spannung der Lampen ergibt sich daraus, daß es sich um eine Gleichstrom-Dreileiteranlage handelt, und daß die daran angeschlossenen Motoren für 440 Volt gebaut sind. Der einzige Zweck der Dreileiteranlage besteht darin, daß die Vorteile einer hohen Spannung für die Übertragung (billige Leitungen bzw. geringe Verluste) verbunden werden mit den Vorteilen einer niedrigen Spannung bezüglich der Glühlampen (billigere, sparsamere, kleinere, stoßfestere Lampen). Ganz allgemein werden daher bei einem Dreileitersystem die Motoren (allenfalls mit Ausnahme der allerkleinsten) an die Außenleiter angeschlossen, die Glühlampen dagegen zwischen einen Außenleiter und den Mittelleiter. Daraus folgt hier, daß es sich um eine Anlage für 2 × 220 Volt handelt und daß die Glühlampen für eine Spannung von 220 Volt zu wählen sind.

Das Telegramm könnte daher beispielsweise etwa lauten: „Eilsendet Glühlampen, 20000 Metallfaden 25 Kerzen, 10000 dito 16 Kerzen, 2000 gasgefüllte 2000 Watt, 5000 Kohlefaden 32 Kerzen, sämtlich 220 Volt, gasgefüllte Goliath klar, übrige Hälfte Normal-Edison, Hälfte Normal-Swan, Kohlefaden Kugelform, andere möglichst Birnenform, ein Fünftel jeder Art möglichst halbmattiert."

35. Wenn x die gesuchte höchstzulässige Entfernung der beiden Auflagepunkte von einander in cm bezeichnet, so beträgt die gesamte Nutzlast des Balkens, die 460 kg/m oder 4,6 kg/cm ist, $4{,}6\,x$ kg. Jedes Auflager, z. B. das rechte, hat davon die Hälfte, also $2{,}3\,x$ kg zu tragen und drückt mit dieser Kraft auf den Balken senkrecht aufwärts. Da das größte Biegungsmoment aus Symmetriegründen in der Mitte des Balkens auftritt, ist der Querschnitt an dieser Stelle zu betrachten. In bezug auf diesen Querschnitt hat das rechte Auflager einen Abstand von $\frac{x}{2}$ cm und daher ein Biegungsmoment von $2{,}3 \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 1{,}15\,x^2$ cmkg, und zwar linksdrehend.

Außerdem wirkt auf diesen Querschnitt die Nutzbelastung der rechten Balkenhälfte, die $4{,}6 \cdot \frac{x}{2} = 2{,}3\,x$ kg beträgt und in ihrem Schwerpunkt, also in einer Entfernung von $\frac{x}{4}$ cm von der Mitte des Balkens konzentriert gedacht werden kann. Diese Nutzlast wirkt daher auf den betrachteten Querschnitt mit einem Biegungsmoment von $2{,}3\,x \cdot \frac{x}{4} = 0{,}575\,x^2$ cmkg, und zwar rechtsdrehend.

Das gesamte von diesem Querschnitt aufzunehmende Biegungsmoment $\mathfrak{M}_{max}$ ist daher $1{,}15\,x^2 - 0{,}575\,x^2 = 0{,}575\,x^2$ cmkg.

Gemäß der Beziehung: „zulässiges Biegungsmoment (in cmkg) gleich zulässige Biegungsbeanspruchung (k_b in kg/cm²) mal Widerstandsmoment W des Querschnittes (in cm³)“[1]) ergibt sich hier, wenn für Kiefernholz der für Hochbauten zulässige Wert $k_b = 100$ kg/cm² eingesetzt wird (Bernoulli S. 179. — Hütte 1923, I., S. 609. — Dubbel I., S. 437. — Freytag S. 91.),

$$0{,}575 \cdot x^2 = 100 \cdot W.$$

Für rechteckigen Querschnitt von b cm Breite und h cm Höhe ist $W = \frac{b \cdot h^2}{6}$ cm³. (Bernoulli S. 145. — Hütte 1923, I., S. 645. — Dubbel I., S. 479. — Freytag S. 99.)

Danach ergibt sich hier mit $b = 11$ cm und $h = 22$ cm die Beziehung:

$$0{,}575 \cdot x^2 = \frac{100 \cdot 11 \cdot 22^2}{6};$$

$$x^2 = \frac{100 \cdot 11 \cdot 22^2}{6 \cdot 0{,}575} = 155000; \quad x = \mathbf{394\ cm.}$$

Die höchstzulässige Entfernung der beiden Auflager von einander beträgt daher **3,94 m.**

Bemerkung: Die Berechnung hätte sich kürzer erledigen lassen, wenn man die für einen gleichmäßig belasteten Balken auf zwei Stützen geltende Formel $\mathfrak{M}_{max} = \frac{Q \cdot l}{8} = \frac{q \cdot l^2}{8}$ im Kopf oder zur Hand gehabt hätte, in der l die Balkenlänge, Q die gesamte Nutzlast, q die Nutzlast pro Längeneinheit bedeutet.

36. Aus der Spannung der Dynamo ergibt sich die niedrigste Außenleiterspannung zu 440 Volt, die zur Deckung des Leitungsverlustes bis auf etwa 500 Volt erhöht werden kann. Die Glühlampen brennen daher mit 220 Volt. Die Akkumulatorenbatterie ist für eine Entladespannung von 440—500 Volt bemessen; in ihrer Mitte zweigt der Mittelleiter ab; bzw. sie besteht aus zwei Einzelbatterien, die je für 220—250 Volt Entladespannung bemessen sind. Parallel zu den Batteriehälften liegen die beiden Ausgleich-Dynamomaschinen, die daher ebenfalls 220—250 Volt erzeugen können. Die Bogenlampen werden in Reihen zu je 4 Lampen an eine Netzhälfte (zwischen + und 0 oder zwischen — und 0) angeschlossen, ebenso die kleinen Motoren, die daher für 220 Volt gebaut werden können, wobei sie billiger und be-

[1]) Bernoulli S. 143. — Hütte 1923, I., S. 631. — Dubbel I., S. 456. — Freytag S. 96.

triebssicherer werden als so kleine 440-Volt-Motoren. Die großen Motoren liegen dagegen zwischen + und — und sind für 440 Volt hergestellt. Alle Lampen und kleinen Motoren sind auf die beiden Netzseiten so verteilt, daß beide Seiten ($^+/_0$ und $^-/_0$) stets möglichst gleich stark belastet werden. So ergibt sich das durch Abb. 42 dargestellte Schaltbild.

Bezüglich der Ladung der Batterie wurde angenommen, daß sie durch Erhöhung der Spannung der Hauptdynamo erfolge,

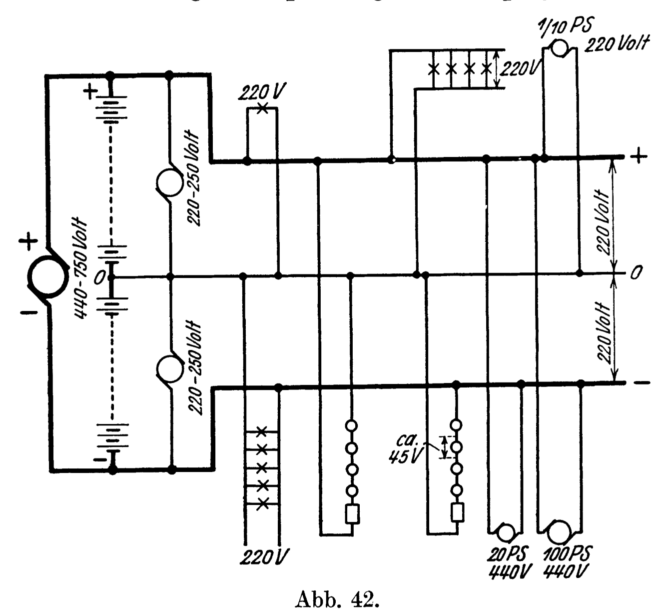


Abb. 42.

die daher entsprechend der kleinsten (1,83 Volt) und größten (2,75 Volt) Spannung einer Zelle zeitweilig bis auf $500 \cdot \frac{2,75}{1,83}$ $\approx$ 750 Volt hinaufgetrieben werden muß, wobei dann das Netz so lange von der Batterie allein (durch den Entladeschlitten) oder von anderen Maschinen versorgt oder auch abgeschaltet wird.

37. Zu 1. Bei verlustloser Umsetzung von Wärme in Arbeit entsprechen 427 mkg einer (großen) Kalorie oder 1 mkg einer Wärmemenge von 1/427 Kilokalorie (Bernoulli S. 362). Eine ideale Dampfanlage mit dem Wirkungsgrad $\eta = 1$ würde daher zur Abgabe einer Arbeitsmenge von einer PS-Std oder von $75 \cdot 3600$ mkg eine Wärmemenge von $75 \cdot 3600 \cdot \frac{1}{427} = 632$ Kilokalo-

rien erfordern. Die gegebene wirkliche Dampfkraft-Anlage (Kessel mit allem Zubehör, Rohrleitungen und Dampfmaschine zusammen) braucht dagegen für je eine PS-Std 10 kg Dampf, von denen jedes kg $^1/_8$ kg Kohle erfordert, von denen jedes kg 7500 Kilokalorien enthält. Die Anlage braucht also für je eine PS-Std $10 \cdot {}^1/_8 \cdot 7500$ $=$ **9375 Kilokal.**

Von den 9375 Kilokal werden demnach nur 632 nutzbar gemacht. Der Gesamtwirkungsgrad der ganzen Anlage ist daher:

$$\eta_{\text{gesamt}} = \frac{632}{9375} = \mathbf{0{,}0674} \text{ oder } \mathbf{6{,}74\,\%}.$$

Zu 2. Die nicht ausgenutzten Wärmemengen bleiben hauptsächlich:

bei Auspuffmaschinen: im Abdampf,
bei Kondensationsmaschinen: im Kühlwasser.

38. 1. Berechnung auf Erwärmung.

Bei einem Wirkungsgrad $\eta = 1$ würde der Motor eine zugeführte elektrische Leistung von $150 \cdot 0{,}736$ kW erfordern, bei $\eta = 0{,}92$ braucht er $\frac{150 \cdot 0{,}736}{0{,}92} = 120$ kW, gemessen an den Motorklemmen. Da dort die Spannung mindestens 475 Volt sein soll, so beträgt der Motorstrom höchstens $\frac{120\,000 \text{ (Watt)}}{475 \text{ (Volt)}} = 253$ Amp. Gemäß der empirisch gefundenen und vom V. D. E. herausgegebenen Tabelle (Bernoulli S. 521. — Strecker S. 439. — Hütte 1923, II.. S. 1150. — Dubbel II., S. 840. — Freytag S. 1127. — Kosack S. 271, 272. — Vorschriften und Normen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker 1923 S. 309) ist für diese Stromstärke bei isolierten Kupferleitungen in Innenräumen ein leitender Metallquerschnitt von mindestens **120 qmm** erforderlich, damit die Erwärmung in den zulässigen Grenzen bleibt.

2. Berechnung auf Spannungsabfall.

Der in der Leitung (und zwar in Hin- und Rückleitung zusammen) entstehende Spannungsabfall ε (in Volt) soll höchstens $500 - 475 = 25$ Volt betragen. Der geringste (in Hinsicht auf Spannungsabfall, nicht auf Erwärmung!) zulässige Querschnitt ergibt sich, wenn man mit diesem höchstzulässigen Spannungsabfall tatsächlich rechnet[1]). Bei einem Spannungsabfall von 25 Volt, also bei einer Spannung von 475 Volt am Motor, beträgt

[1]) Diese Regel gilt allerdings nur dann, wenn der höchstzulässige Spannungsabfall kleiner ist als die Hälfte der Zentralenspannung, was in der Praxis fast stets zutrifft. Vgl. Aufgabe Nr. 106.

gemäß Abschnitt 1 die Stromstärke $i = 253$ Amp. Nun ist allgemein $\varepsilon = i \cdot R = i \frac{\varrho l}{q}$, wobei R den Widerstand der ganzen (!) Leitung in Ohm bedeutet, ϱ den spezifischen Widerstand des Leitungsmetalls in $\frac{\text{Ohm} \cdot \text{qmm}}{\text{m}}$, l die Länge der ganzen (!) Leitung (Hin- und Rückleitung zusammen, im allgemeinen also die doppelte Tracenlänge) in Metern, q den Querschnitt einer Leitung (also z. B. aller Drähte oder Seile, die die Hinleitung oder die positive Leitung bilden,) in qmm.

Hier ergibt sich daher $25 = 253 \frac{2 \cdot 400}{57 \cdot q}$, und daraus:

$$q = \frac{253 \cdot 2 \cdot 400}{57 \cdot 25} = \mathbf{142\ qmm.}$$

3. Wirklich zu wählender Querschnitt.

Die Berechnung auf Erwärmung ergab 120 qmm, die Berechnung auf Spannungsabfall 142 qmm. Maßgebend für die Ausführung ist natürlich der größere der beiden gefundenen Werte (weil beide Bedingungen erfüllt sein müssen); ferner ist die gefundene Ziffer nach oben auf den nächsten gangbaren Querschnitt abzurunden, hier also auf **150 qmm.**

39. Gemäß der Eulerschen Knickformel knickt die Säule bei einer Belastung von

$$\frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2} \qquad \text{oder} \qquad \pi^2 \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{J}{l^2}.$$

Wird hierin $E = \frac{1}{\alpha}$ mit 2150000 kg/cm² eingesetzt, so muß entsprechend J in cm⁴ und l in cm(!) gerechnet werden.

Die Knicklast (das heißt die Last, bei der die Säule knickt, nicht die zulässige Last!) beträgt also:

$$\frac{\pi^2 \cdot 2150000 \cdot J}{500 \cdot 500} = 85 \cdot J \text{ kg}.$$

Bei 7facher Sicherheit muß daher die wirkliche Last (von 7000 kg) ein Siebentel dieser Knicklast sein:

$$7000 = \frac{1}{7} \cdot 85 \cdot J.$$

Daraus folgt dann:

$$J = \frac{7000 \cdot 7}{85} = 577 \text{ cm}^4.$$

Die Trägertabelle ergibt als kleinstes Profil, das für die ungünstigste Knickrichtung (!) mindestens diesen Wert des Trägheitsmomentes aufweist, das **Profil Nr. 34** (mit $J = 674$). (Daß dies Profil für die andere Richtung einen Wert für J von 15695 cm^4 hat und daher in jener Richtung erst bei viel höherer Belastung knicken würde, nützt uns nichts!)

40. Die Osramlampe ist eine Metallfadenlampe. Solche Lampen erfordern bei diesen kleineren Typen (25 HK) etwa 1,1 Watt für jede Hefnerkerze (Kosack S. 239. — Bernoulli S. 570. — Hütte II., S. 949. — Dubbel II., S. 829. — Freytag S. 1132), so daß der Verbrauch dieser Lampe etwa $25 \cdot 1{,}1 = 27{,}5$ Watt beträgt. Ist N der Verbrauch der Lampe in Watt, i ihre Stromstärke in Amp, R ihr Widerstand in Ohm, E die Spannung zwischen den Lampenklemmen in Volt, so ist $i = \frac{E}{R}$; $N = iE = \frac{E^2}{R}$; $R = \frac{E^2}{N}$, woraus durch Einsetzen der gegebenen Werte für diesen Fall folgt: $R = \frac{127^2}{27{,}5} = \mathbf{587\ Ohm.}$ Dieser Wert gilt (ebenso wie der Wert 27,5 Watt) für die brennende Lampe, d. h. bei glühendem Wolframdraht.

41. Die Wasserstromstärke beträgt 0,5 cbm/sek oder 500 kg/sek. Das Gesamtgefälle beträgt $378 - 331 = 47$ m. Davon gehen jedoch in den beiden Gräben $\frac{1}{1000} \cdot 3500 = 3{,}5$ m verloren, so daß an der Turbinenanlage nur noch $47 - 3{,}5 = 43{,}5$ m verfügbar sind. Bei einem Wirkungsgrade der Turbinen- und Dynamo-Anlage von 100 % würde daher die Leistung der Turbine $\frac{43{,}5 \cdot 500}{75}$ PS und die Leistung der Dynamo $\frac{43{,}5 \cdot 500 \cdot 0{,}736}{75}$ kW betragen.

Da aber der Wirkungsgrad der Turbine nur 0,81, der der Transmission nur 0,95 und der der Dynamo nur 0,93 beträgt, so sinkt die elektrische Nutzleistung in Wirklichkeit auf:

$$\frac{43{,}5 \cdot 500 \cdot 0{,}736 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}93}{75} = \mathbf{152{,}8\ kW.}$$

42. Aus $n = 700$ Umdr./min und dem Scheibendurchmesser $D = 0{,}45$ m folgt die Riemengeschwindigkeit

$$v = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}45 \cdot 700}{60} = 16{,}48 \text{ m/sek.}$$

Für diese Geschwindigkeit und für den Scheibendurchmesser von 450 mm ist aus der gegebenen Tabelle nach Gehrckens der zulässige Wert für die pro cm Riemenbreite übertragbare Umfangskraft zu ermitteln. Die vier benachbarten Werte sind:

	$v = 10$ m/s	$v = 20$ m/s
Scheiben ∅ 400 mm . .	7 kg/cm	9 kg/cm
Scheiben ∅ 500 mm . .	8 kg cm	10 kg/cm

Die Interpolation ergibt für einen Scheibendurchmesser von 450 mm:

bei $v = 10$ m/sek den Wert 7,5 kg/cm,

bei $v = 20$ m/sek den Wert 9,5 kg/cm.

Für $v \approx 16{,}5$ m/sek und $D = 0{,}45$ m folgt daraus durch Interpolation der Wert; $7{,}5 + \frac{(9{,}5 - 7{,}5)\,(16{,}5 - 10)}{(20 - 10)} = 7{,}5 + \frac{2 \cdot 6{,}5}{10}$ $= 7{,}5 + 1{,}3 = 8{,}8$ kg/cm, mit dem daher zu rechnen ist.

Aus $v = 16{,}48$ m/sek und $N = 25$ PS ergibt sich die auf den Riemenscheiben-Umfang der Pumpe nutzbar (d. h. als Differenz der Züge im straffen und im schlaffen Trum) zu übertragende Kraft P in kg gemäß $N = \frac{P \cdot v}{75}$; $P = \frac{75\,N}{v} = \frac{75 \cdot 25}{16{,}48}$ $= 113{,}5$ kg. Zur Übertragung dieser Kraft ist daher eine Riemenbreite von $\frac{113{,}5 \text{ kg}}{8{,}8 \text{ kg/cm}} = 12{,}9$ cm oder rund **13 cm** erforderlich.

43. Im nebenstehenden Schaltbild Abb. 43 sind bei den Leitungen die Polzeichen, bei den Apparaten und Instrumenten die Stromstärken eingetragen. Letztere ergeben sich aus der Maschinenleistung von 200, 400, 600 kW und der Spannung von 220 Volt zu $\frac{200000}{220} = 910$ Amp bzw. $2 \cdot 910 = 1820$ Amp bzw. $3 \cdot 910 = 2730$ Amp und einer angemessenen Abrundung nach oben, damit die Instrumente auch noch bei Überlastung der Maschinen ausreichen.

Der Spannungsmesser-Umschalter ist als Steck-Umschalter gezeichnet mit 7 Stellungen. Die Ziffern neben seinen Kontakten und die gleichen Ziffern neben Punkten des übrigen Schaltbildes deuten die erforderlichen festen Spannungs-Meßleitungen der Schaltanlage an. Stellung (5, 6) mißt die Spannung zwischen den Kontakten des rechten Hebelschalters von Generator I. Ist der linke Schalter (ein selbsttätiger Höchststrom-Ausschalter) der Maschine I geschlossen, der rechte offen, und zeigt dann das Volt-

meter bei dieser Stellung seines Umschalters Null oder einen kleinen positiven Betrag, so darf auch der rechte Schalter geschlossen werden, womit dann die Maschine auf die Sammelschienen parallel zu den bereits laufenden Maschinen geschaltet wird. Ebenso dienen die Stellungen (9, 10) und (13, 14) für Maschine II und III.

Eine Bewegung der Kurbel des Feldreglers einer Maschine in der Pfeilrichtung bewirkt:

a) bei leer und allein laufendem Generator ein Steigen der Spannung (Strom und Leistung sind Null);

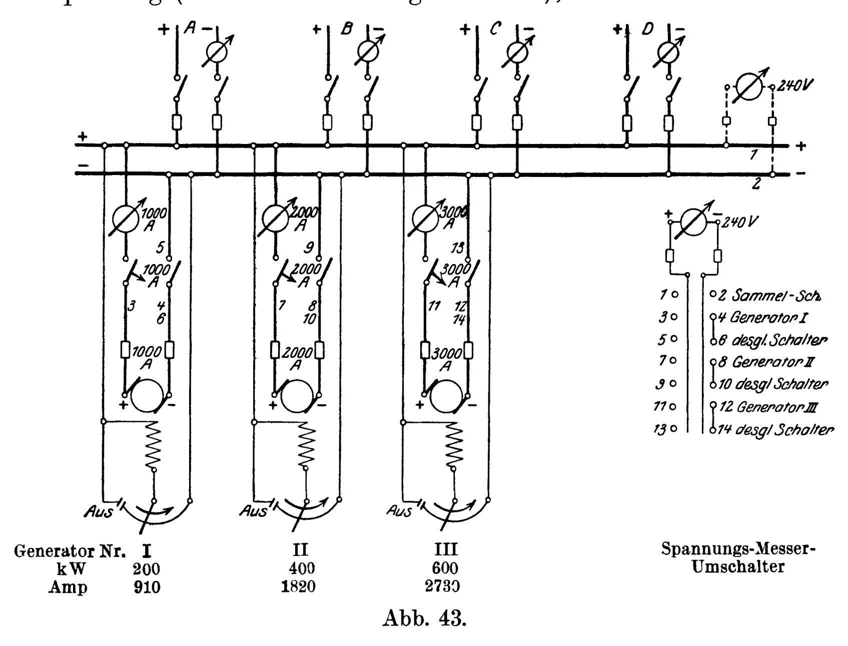


Abb. 43.

b) bei allein arbeitendem Generator ein Steigen der Spannung, des Stromes und der Leistung;

c) bei parallel arbeitendem Generator ein Steigen des Stromes und der Leistung dieses Generators, während die Spannung nur wenig steigt und ebenso die Gesamtleistung aller Maschinen. Die anderen Maschinen werden entlastet.

Die Erregung der Maschinen ist nicht von den Maschinenklemmen abgezweigt, sondern von den Sammelschienen. Dies ist von Vorteil, wenn beim Anlaufen der Maschine die Sammelschienen bereits unter Spannung stehen, etwa dadurch, daß eine andere Maschine schon auf die Sammelschienen arbeitet. Dann

wird nämlich bei dieser Schaltung der Magnetismus und daher auch die Maschinenspannung rascher erzeugt als bei Selbsterregung. Auch ist dann ausgeschlossen, daß die Polarität der Maschinenklemmen falsch wird, wie es bei Selbsterregung infolge Umpolarisierung beim Ausschalten (Überkippen des remanenten Magnetismus) zuweilen vorkommt. (Deswegen wird diese Anordnung bei Anlagen mit Batterie, bei denen die Sammelschienen dauernd unter Spannung zu stehen pflegen, fast stets angewendet.) Soll die Maschine anlaufen, ehe die Sammelschienen Spannung führen, so muß sie sich selbst erregen. Zu dem Zweck müssen in diesem Falle vor dem Anlassen die beiden Hauptschalter der betreffenden Maschine geschlossen werden; das Netz wird dabei durch Öffnen der sämtlichen Netzschalter abgetrennt.

44. Aus den Angaben über das Diagramm und über die Indikatorfeder folgt:

Diagramminhalt: 700 qmm;
Diagrammlänge: 60 mm;
mittlere Diagrammhöhe: $\frac{700}{60} = 11{,}67$ mm;
je 1 mm der Diagramm-Höhe entspricht einem Druck im Dampfmaschinen-Zylinder von 0,25 at;
daher mittlerer indizierter Druck:

$$p_m = 11{,}67 \cdot 0{,}25 = 2{,}9175 \text{ at.}$$

Die Kolbenfläche F in qcm (!) ist $30^2 \pi/4 = 707$ qcm.

Die indizierte Arbeit e i n e r (!) Kolbenseite b e i e i n e m U m l a u f (nicht bei einem Hub!) wird daher, da der Hub $s = 0{,}5$ Meter (!) ist,

$$\begin{array}{cccc} 707 \cdot & 2{,}9175 & \cdot\, 0{,}5 & = 1031{,}5 \text{ mkg.} \\ (F) \cdot & (p_m) & \cdot\, (s) & \\ (\text{cm}^2) \cdot & (\text{kg/cm}^2) & \cdot\, (\text{m}) & \end{array}$$

Die indizierte Arbeit beider Zylinderseiten zusammen während einer Umdrehung ist daher $2 \cdot 1031{,}5 = 2063$ mkg.

Daraus folgt die indizierte Arbeit der Maschine in einer Minute durch Multiplikation mit $n = 140$, und daraus die sekundliche Arbeit (das ist die Leistung) durch Division durch 60, also zu $\frac{2063 \cdot 140}{60}$ mkg/sek. Die indizierte Leistung in PS ergibt sich daher zu:

$$N_i = \frac{2063 \cdot 140}{60 \cdot 75} = \mathbf{64{,}18\ PS.}$$

45. Zu 1. Durch das Rohr strömen pro Sekunde $\frac{500}{60}$ $= 8{,}33$ kg Luft. 1 cbm Luft von 0^{0} und 760 mm QS wiegt 1,293 kg (Hütte 1923, I., S. 482. — Bernoulli S. 65. — Dubbel I., S. 385, 578. — Freytag S. 1169). Im vorliegenden Falle steht die Luft unter einem Druck, der um 0,3 kg/cm² höher ist als der äußere Luftdruck. Nimmt man den äußeren Luftdruck zu 760 mm QS an und berücksichtigt, daß 1 kg/cm² $= 735{,}5$ mm QS ist (Hütte 1923, I., S. 477. — Bernoulli S. 339. — Dubbel I., S. 360), so ergibt sich der absolute Druck im Rohr zu $760 + 0{,}3 \cdot 735{,}5 \approx 760 + 220 = 980$ mm QS. Die Temperatur der Luft im Rohr beträgt 700^{0} C. Je 1 cbm der Luft von diesem Zustande wiegt (gemäß Hütte 1923, I., S. 405. — Bernoulli S. 354. — Dubbel I., S. 385. — Freytag S. 467):

$$1{,}293 \cdot \frac{980\,(\text{mm}\,QS)}{760\,(\text{mm}\,QS)} \cdot \frac{273^{0}}{(273 + 700)^{0}} \approx 0{,}48 \text{ kg/cbm.}$$

Der Gewichtsmenge von 8,33 kg/sek entspricht daher ein sekundlich durch das Rohr strömendes Luftvolumen von $\frac{8{,}33 \text{ kg/sek}}{0{,}48 \text{ kg/cbm}}$ $\approx 17{,}5$ cbm/sek. Um dies Volumen bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 15 m/sek zu befördern, ist ein lichter Rohrquerschnitt von $\frac{17{,}5 \text{ cbm/sek}}{15 \text{ m/sek}} = 1{,}17$ qm erforderlich. Der lichte Durchmesser des zylindrischen Rohres muß daher etwa **1,22 Meter** betragen.

(Tabellen: Hütte 1923, I., S. 4. — Bernoulli S. 4. — Dubbel I., S. 4. — Freytag S. 4.)

Zu 2. Vor dem Wind-Erhitzer ist die Luft noch kühl, und zwar mag ihre Temperatur dort zu etwa 20^{0} C angenommen werden. Ihr Druck wird nicht wesentlich größer sein als hinter dem Erhitzer, kann also wieder zu 980 mm QS angesetzt werden. Das pro Sekunde durch das Rohr strömende Luftgewicht ist hier dasselbe wie hinter dem Erhitzer. Das sekundliche Volumen ist dagegen wegen der geringeren Temperatur kleiner, und zwar im Verhältnis der absoluten Temperaturen, also im Verhältnis $\frac{273 + 20}{273 + 700} = \frac{293}{973}$. Da die Strömungsgeschwindigkeit dieselbe sein soll wie vorhin (hinter dem Erhitzer), so kann auch der Rohrquerschnitt im Verhältnis $\frac{293}{973}$ kleiner sein, der Rohrdurchmesser also im Verhältnis $\sqrt{\frac{293}{973}}$. Die erforderliche lichte Rohr-

weite beträgt daher

$$1{,}22\sqrt{\frac{293}{973}} \approx \mathbf{0{,}67\ m.}$$

46. Zu 1. Während der Ladung hat eine Akkumulatorzelle im Durchschnitt eine Spannung von etwa 2,5 Volt, so daß die aus zwei in Reihe geschalteten Zellen bestehende Batterie bei der Ladung etwa 5 Volt erfordert. Auf die als Ladewiderstand vorgeschalteten Lampen entfallen daher noch etwa $110 - 5 = 105$ Volt, so daß diese Lampen nicht ganz mit ihrer normalen Helligkeit und Stromstärke brennen. Beim Betrieb mit ihrer Normalspannung von 110 Volt würde jede dieser Lampen, da sie als Metallfadenlampe pro Kerze etwa 1,1 Watt erfordert, etwa $16 \cdot 1{,}1 \approx 18$ Watt brauchen und daher einen Strom von etwa $\frac{18\ \text{Watt}}{110\ \text{Volt}} \approx 0{,}163$ Amp aufnehmen. Vernachlässigt man den Umstand, daß der Widerstand dieser Lampen bei Abweichung von der Normalspannung infolge der dadurch bedingten Änderung der Leuchtfaden-Temperatur sich etwas ändert, so ergibt sich der bei einer Lampenspannung von 105 Volt durch eine Lampe fließende Strom zu $0{,}163 \cdot \frac{105}{110} \approx 0{,}155$ Amp. Wenn nun durch die Batterie ein Ladestrom von 4 Amp geschickt werden soll, so müssen $\frac{4}{0{,}155} \approx$ **26 solcher Lampen** zu einander parallel geschaltet werden.

Zu 2. Die Grubenlampe braucht als Metallfadenlampe während ihres Brennens etwa 1,1 Watt pro Kerze oder etwa 1,1 Wattstunden pro Kerzenstunde, beides *gemessen an den Klemmen der kleinen Lampe*. Gekauft werden muß dagegen vom Elektrizitätswerk eine viel größere Arbeitsmenge pro Kerzenstunde, und zwar aus zwei Gründen: einmal, weil der Strom mit einer *Spannung* von 110 Volt gekauft, aber nur mit etwa $2 \cdot 1{,}9 = 3{,}8$ Volt (während der Entladung der Batterie) nutzbar verwendet wird, während der Rest von etwa 106 Volt im Lade-Vorschaltwiderstand und in der Batterie verloren geht; zweitens, weil nicht die ganze gekaufte und in die Batterie geladene *Strommenge* (gemessen in Amp-Std) wieder aus der Batterie entnommen werden kann, sondern nur etwa 90 %$_0$ davon. (Wirkungsgrad der Batterie, bezogen auf Amperestunden: etwa 0,9, bezogen auf Wattstunden: etwa 0,75). An Stelle von 1,1 Wattstunden pro Kerzenstunde sind daher zu kaufen: $1{,}1 \cdot \frac{110}{3{,}8} \cdot \frac{1}{0{,}9}$

$\approx 1{,}1 \cdot 32 \approx 35$ Wattstunden oder **0,035 kWStd.** Bei einem Preise von 50 Goldpfennigen pro kWStd kostet diese Arbeit $0{,}035 \cdot 50 = $ **1,75 Goldpfennige.**

Zu 3. Die Kerzenstunde einer normalen Metallfadenlampe der Installation erfordert etwa 1,1 Wattstunden, oder $\frac{1}{32}$ der eben berechneten Arbeitsmenge und kostet daher auch nur $\frac{1}{32} \cdot 1{,}75$ $\approx$ **0,055 Goldpfennig.**

Zu 4. Der hohe Betrag unter 2. kann verringert werden:

a) dadurch, daß man die 105 Volt nicht nutzlos im Lade-Vorschaltwiderstand verbraucht, sondern als Vorschaltwiderstand solche Glühlampen verwendet, deren Licht benutzt wird. Man wird sie dann zweckmäßig für 105 Volt wählen, damit sie mit voller Helligkeit und weiß (nicht rötlich) brennen;

oder b) dadurch, daß man gleichzeitig viele (etwa 16) solcher Grubenlampenbatterien ladet, wobei alle in Reihe geschaltet sind. Dann ist nur ein viel kleinerer Lade-Vorschaltwiderstand erforderlich, in dem viel weniger Arbeit verloren geht. Es wird ein viel größerer Teil der Spannung (bei 16 Batterien etwa $16 \cdot 3{,}8 \approx 61$ Volt) von den 110 Volt nutzbar und die Kosten der Kerzenstunde werden viel (sechzehnmal) kleiner;

oder c) dadurch, daß man mit den 110 Volt einen Elektromotor antreibt, mit diesem aber eine Dynamomaschine für niedrige Spannung, die zum Laden der Batterie ohne Vorschaltwiderstand dient, und daß man die Spannung dieser Lademaschine dem Ladezustand der Batterie anpaßt (also anfangs etwa $2 \cdot 2 = 4$ Volt, gegen Ende der Ladung etwa $2 \cdot 2{,}75 = 5{,}5$ Volt). Dann bleibt an den Lampenklemmen von der gekauften Arbeitsmenge noch ein Bruchteil nutzbar übrig, der dem Produkt aus dem Wirkungsgrad des Motors, dem Wirkungsgrad der Ladedynamo, und dem Wirkungsgrad der Batterie (letzterer ist etwa 0,75) entspricht.

47. Zur Vermeidung von Irrtümern bezüglich der Maßeinheiten möge bei allen Längen, Durchmessern und Beanspruchungen nach cm bzw. cm^2 gerechnet werden.

Bezeichnet d den Durchmesser des einzelnen Drahtes in cm, so ist der Querschnitt eines Drahtes $d^2 \cdot \pi/4$ cm^2, der Metallquerschnitt des ganzen Seiles $q = 84 \cdot d^2 \cdot \pi/4$ cm^2, die Reißgrenze für das ganze Seil $84 \cdot d^2 \cdot \pi/4 \cdot 12000$ kg. Die zulässige Zugbeanspruchung des Seiles einschließlich des Eigengewichtes beträgt

daher mit Rücksicht auf die verlangte 6fache Sicherheit

$$\frac{84 \cdot d^2 \cdot \pi/4 \cdot 12000}{6} = 132000\, d^2 \text{ (kg)}.$$

Das Eigengewicht des Seiles (in g) ergibt sich aus dem spezifischen Gewicht des Drahtmaterials (7,8 g/cm³) und dem Metallvolumen des Seiles (in cm³), das aus dem Metallquerschnitt des Seiles ($84 \cdot d^2 \cdot \pi/4 \cdot \text{cm}^2$) und der Länge ($800 \cdot 100$ cm) folgt.

Das Eigengewicht beträgt daher:

$$84 \cdot d^2 \cdot \pi/4 \cdot 800 \cdot 100 \cdot 7{,}8 = 41100000\, d^2 \text{ (g) oder } 41100\, d^2 \text{ kg}.$$

Der gesuchte kleinstzulässige Drahtdurchmesser d ergibt sich, wenn die vorgeschriebene Nutzlast von 2000 kg zusammen mit dem soeben berechneten Eigengewicht gerade die zulässige Gesamtbelastung ausmacht, also aus der Beziehung:

$$2000 + 41100\, d^2 = 132000\, d^2.$$

Daraus folgt dann:

$$2000 = 90900\, d^2;\quad d^2 = 0{,}022;\quad d = 0{,}148 \text{cm}.$$

Die Drahtstärke muß daher mindestens **1,48 mm betragen.**

48. Da beide zur Wahl stehenden Lampen (Wolfram und Kohle) gleich hell sind (25 HK) und nur die Kosten für die Wahl ausschlaggebend sein sollen, so braucht man nur für jede Art die Kosten pro Lampenbrennstunde zu berechnen und diese beiden Ziffern miteinander zu vergleichen.

Diese Kosten setzen sich zusammen aus den Stromkosten und den Lampen-Ersatzkosten. Maßgebend für die Wahl ist die Summe beider Ausgaben.

Die Stromkosten pro Lampenstunde ergeben sich aus Helligkeit, Ökonomie und Strompreis pro kWStd, die Lampen-Ersatzkosten pro Lampenstunde dagegen aus Lampenpreis und Nutzbrenndauer. Unter der Nutzbrenndauer versteht man diejenige Brenndauer einer Lampenart, nach deren Ablauf ihre Helligkeit unter 80% ihres Anfangswertes sinkt und nach der man deswegen die Lampen durch neue ersetzt. Da alle diese Größen außer dem Kilowattstundenpreise gegeben sind, so läßt sich bei jeder Lampenart für die Gesamtkosten einer Lampenbrennstunde ein Ausdruck bilden, der als einzige Unbekannte den Kilowattstundenpreis enthält.

Die Lampenersatzkosten werden bei der Kohlefadenlampe trotz ihrer kürzeren Nutzbrenndauer geringer sein als bei der Metalldrahtlampe, weil ihr Anschaffungspreis so sehr viel niedriger ist. Dagegen sind die Stromkosten bei der Metalldrahtlampe

wegen ihres kleineren spezifischen Wattverbrauches geringer als bei der Kohlefadenlampe. Es muß daher einen Strompreis geben, bei dem die Gesamtkosten bei beiden Lampenarten pro Lampenbrennstunde (und damit auch die Gesamtkosten für die ganze Anlage und für eine beliebige Zeit, etwa für das Jahr) genau gleich groß werden. Dieser Strompreis muß sich ergeben, wenn man die Ausdrücke für die Gesamtkosten einer Lampenstunde bei den beiden Lampenarten einander gleich setzt.

Im vorliegenden Fall ergibt sich nach dem Vorstehenden der folgende Rechnungsgang, wenn man den Preis einer kWStd in Goldpfennigen mit x bezeichnet:

Kohlefadenlampen:

Je eine Lampenbrennstunde erfordert $25 \cdot 3{,}8$ Wattstunden oder $\frac{25 \cdot 3{,}8}{1000}$ kWStd und verursacht daher an Stromkosten eine Ausgabe von $\frac{25 \cdot 3{,}8}{1000} \cdot x$ Goldpfennigen.

Auf je 600 Lampenbrennstunden ist eine neue Lampe zu kaufen, die 85 Goldpfennige kostet. Auf jede Lampenbrennstunde entfallen daher an Lampen-Ersatzkosten $\frac{85}{600}$ Goldpfennige.

Insgesamt betragen daher die Kosten pro Lampenbrennstunde

$$\frac{25 \cdot 3{,}8}{1000} \cdot x + \frac{85}{600} \quad \text{oder} \quad (0{,}095\,x + 0{,}142) \text{ Goldpfennig.}$$

Metalldrahtlampen:

In genau entsprechender Weise ergeben sich bei den zur Wahl stehenden Metalldrahtlampen für je eine Lampenbrennstunde die Stromkosten zu $\frac{25 \cdot 1{,}2}{1000}\,x$ Goldpfennig, die Lampen-Ersatzkosten zu $\frac{390}{1500}$ Goldpfennig, die Summe beider zu $(0{,}03\,x + 0{,}26)$ Goldpfennig.

Aus der Gleichsetzung der Ausdrücke für die beiden Lampenarten folgt dann:

$$0{,}095\,x + 0{,}142 = 0{,}03\,x + 0{,}26;$$

$$0{,}065\,x = 0{,}118; \; x = \frac{0{,}118}{0{,}065} \approx \textbf{1,8 Goldpfennig pro kWStd.}$$

Erst bei diesem sehr niedrigen Strompreise machen in diesem Falle die geringeren Ersatzkosten der Kohlelampen ihren höheren Stromverbrauch wett. Bei jedem höheren Strompreise sind die

Metalldrahtlampen vorteilhafter. Natürlich gilt diese Strompreisgrenze nur, wenn die beiden Lampen die angegebenen Daten und Preise haben. Bei anderen Werten von Ökonomie, Nutzbrenndauer und Lampenpreis liegt sie anders.

Bei anderen als den gegebenen Ziffern wäre es sogar denkbar, daß diese Berechnung einen negativen Kilowattstundenpreis ergäbe, der praktisch natürlich nicht in Betracht kommt. Das würde dann bedeuten, daß bei jedem Strompreise dieselbe Lampenart die höheren Gesamtkosten verursacht, nämlich sowohl bei sehr teurem Strom als bei geschenktem Strom. Dies kann indessen nur dann eintreten, wenn dieselbe Lampenart sowohl bezüglich der Stromkosten pro Brennstunde als auch bezüglich der Lampen-Ersatzkosten pro Brennstunde die günstigere ist.

49. Zu 1. Die manometrisch gemessene Druckdifferenz zwischen Saugstutzen und Druckstutzen der Pumpen, ausgedrückt in Meter Wassersäule (mWS), ist gleich dem mit Nivellier-Instrumenten zu ermittelnden Höhenlagen-Unterschied zwischen dem Saugspiegel einerseits und der freien Ausgußstelle des Druckrohres andrerseits (hier 20 m), plus dem Druckverlust in den Rohren nebst Saugkörben, Schiebern usw. (einschließlich der kleinen Beträge für Einströmungs- und Ausguß-Druckverlust). Diese „manometrische" Förderhöhe beträgt also hier $20 + 1{,}5 = 21{,}5$ mWS. Da auf diese manometrische Höhe 1600 kg Wasser pro Sekunde zu heben sind, so ist die manometrische Leistung der Pumpen: **1600 · 21,5 mkg/sek.** (Bernoulli S. 323, 336. — Hütte 1923, II., S. 664, 672. — Dubbel II., S. 196. — Freytag S. 981, 982.)

Der Leistungsbedarf der Pumpen, d. h. die den Pumpen zuzuführende Leistung, beträgt bei einem Pumpenwirkungsgrad von 70% dann:

$$\frac{1600 \cdot 21{,}5}{0{,}7} = \mathbf{49200\,mkg/sek} \text{ oder } \frac{49200}{75} = \mathbf{656\,PS.}$$

Die Elektromotoren würden daher zum Antrieb der Pumpen zusammen bei einem durchschnittlichen Motor-Wirkungsgrad von 92% eine elektrische zugeführte Leistung erfordern von $\frac{656 \cdot 736}{0{,}92} = 525000$ Watt oder **525 kW**. (Wenn man wußte, daß 1 mkg/sek äquivalent ist mit 9,81 Watt, konnte man den elektrischen Leistungsbedarf der Motoren etwas kürzer ableiten aus $\frac{1600 \cdot 21{,}5 \cdot 9{,}81}{0{,}7 \cdot 0{,}92} = 525000$.)

Die Stromkosten pro Stunde betragen daher
$525 \text{ kW} \cdot 6 \text{ Pfg/kWStd} = 3150 \text{ Pfg/Std}$ oder **31,50 Goldmark/Std.**

Bei Antrieb der Pumpen unmittelbar durch Dieselmotoren hätten die Motoren ebenfalls eine Leistung von 49200 mkg/sek abzugeben. Da theoretisch 427 mkg äquivalent mit 1 kg-Kalorie (oder WE) sind, so würden die Dieselmotoren, wenn sie ideale Maschinen mit einem „Gesamtwirkungsgrad" oder „wirtschaftlichen Wirkungsgrad"[1]) $\eta_{\text{wirtsch.}} = 1$ wären, pro Sekunde eine Wärmezufuhr (in Form des Heizwertes des zugeführten Treiböles) von $\frac{49200}{427}$ WE/sek erfordern. Bei $\eta_{\text{wirtsch.}} = 0{,}35$ (einem sehr hohen, von Dampfanlagen nicht annähernd erreichten Wert!) erfordern sie in Wirklichkeit $\frac{49200}{427 \cdot 0{,}35}$ WE/sek und fressen daher, da das verwendete Treiböl 9900 WE/kg enthält, pro Sekunde $\frac{49200}{427 \cdot 0{,}35 \cdot 9900}$ kg/sek Teeröl. Für die Stunde sind das $\frac{49200 \cdot 3600}{427 \cdot 0{,}35 \cdot 9900} = 120$ kg/Std Teeröl, und die Brennstoffkosten betragen daher

$$120 \text{ kg/Std} \cdot 5 \text{ Pfg/kg} = 600 \text{ Goldpfennig/Std}$$

oder **6,00 Goldmark/Std.**

Der Dieselbetrieb ist daher, wenn nur die Kosten des Betriebsstoffes angesehen werden, billiger als der elektrische Betrieb. (In Wirklichkeit sind noch viele andere Gesichtspunkte maßgebend, z. B.: Anschaffungskosten, Bedienungskosten, Reparaturkosten, Zinsen und Abschreibungen, Platzbedarf, Betriebssicherheit, Beweglichkeit der Anlage usw. und bei diesen Gesichtspunkten ist der Elektromotor im Vorteil.)

Zu 2. Der Kostenunterschied pro Jahr beträgt

$$(31{,}50 - 6) \text{ ℳ/Std} \cdot 24 \text{ Std/Tag} \cdot 365 \text{ Tage/Jahr}$$
$$= 25{,}50 \cdot 8760 \approx \textbf{223000 Goldmark pro Jahr.}$$

50. Zu a) Der Wasserbedarf pro Schicht beträgt $500 \cdot 50 = 25000$ Liter $= 25000$ kg.

Bezeichnet x die zur Bereitung dieser Wassermenge erforderliche Dampfmenge in kg, so ist die dem Brunnen zu entnehmende Wassermenge nur $(25000 - x)$ kg. Diese Wassermenge soll von 10^0 C auf 30^0 C, also um 20^0 C erwärmt werden, wozu eine

[1]) Bernoulli S. 500. — Hütte 1923, II., S. 296. — Dubbel II., S. 149. — Freytag S. 713, 714.

Wärmemenge von $20\,(25000 - x)$ WE erforderlich ist. Diese Wärmemenge muß an das Wasser von den x kg Dampf abgegeben werden, die sich dabei in Wasser von 30° C verwandeln und daher noch 30 WE pro kg behalten.

Beim Verlassen des Kessels ist der Dampf Sattdampf von 6 at Überdruck oder 7 at abs und hat daher gemäß den Dampftabellen einen Wärme-Inhalt von 662 WE/kg[1]). Da hiervon durch Strahlung und Leitung im ganzen 25%, das sind 165,5 WE verlorengehen, ist nur noch mit $662 - 165{,}5 = 496{,}5$ WE/kg zu rechnen. Hiervon bleiben im kondensierten Dampf gemäß dem oben Gesagten 30 WE zurück, so daß also der Dampf $496{,}5 - 30 = 466{,}5$ WE/kg und im ganzen daher $466{,}5\,x$ Wärmeeinheiten an das Brunnenwasser abgibt.

Es besteht daher die Gleichung: $466{,}5\,x = 20\,(25000 - x)$. Daraus folgt dann $486{,}5\,x = 500000$; $x = \frac{500000}{486{,}5} =$ **1030 kg Dampf.**

Zu b). Wenn das Kesselspeisewasser ebenfalls dem Brunnen mit 10° C entnommen wird, so sind zur Erzeugung von 1 kg Dampf theoretisch $662 - 10 = 652$ WE erforderlich; praktisch steigt diese Zahl bei einem Wirkungsgrad der Kesselanlage von 0,7 auf $\frac{652}{0{,}7}$ WE/kg. Zur Erzeugung von 1 kg Dampf durch Kohle von 7500 WE/kg sind daher $\frac{652}{7500 \cdot 0{,}7} = 0{,}124$ kg Kohle erforderlich (die „Bruttoverdampfung" ist daher $\frac{1}{0{,}124} \approx 8$ fach).

Der Gesamtbedarf pro Schicht von 1030 kg Dampf erfordert demnach $1030 \cdot 0{,}124 =$ **128 kg Kohle.**

Zu c). Bei einem Preise von 15 Goldmark/Tonne oder 1,5 Goldpfennig/kg kosten die 128 kg Kohle $128 \cdot 1{,}5 = 192$ Goldpfennig oder **1,92 Goldmark.**

Zu d). Eine mäßige Kesselanstrengung behufs guter Ausnutzung des Brennstoffes ergibt eine Dampferzeugung von etwa 17 kg pro qm Kesselheizfläche und Stunde. Wenn der Kessel in 2 Stunden vorläufig 1030 und später das 1,5fache davon, das ist 1545 kg Dampf, oder in der Stunde $\frac{1545}{2} = 772{,}5$ kg Dampf erzeugen soll, so muß er daher eine Heizfläche von etwa $\frac{772{,}5}{17} \approx 45{,}5$ oder rund **50 qm** haben.

---

[1]) Die Tabellen Bernoulli S. 386 rechnen nach alten Atmosphären und weichen von dieser Ziffer etwas ab.

51. Aus der Spannung im Hauptwerk und dem Spannungsabfall von $5\,^0/_0$ ergibt sich die Spannung im Nebenbetriebe zu $0{,}95 \cdot 2000 = 1900$ Volt. Aus der Formel für die Leistung des Drehstromes

$$\underset{\text{(Watt)}}{N} = \underset{\text{(Volt)}}{e} \cdot \underset{\text{(Amp.)}}{i} \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3}$$

folgt durch Einsetzen der gegebenen Werte der Betrag der Stromstärke in einer Phase zu

$$i = \frac{N}{e \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3}} = \frac{800\,000}{1900 \cdot 0{,}75 \cdot \sqrt{3}} = 324 \text{ Amp.}$$

Die Berechnung des Querschnittes erfolgt, wenn man keine fertige Formel zur Hand hat, am sichersten unter Betrachtung einer einzigen Phase der Leitung und Annahme von Sternschaltung. (Das Ergebnis stimmt dann auch für Dreieckschaltung.) Die Spannung von 2000 bzw. 1900 Volt herrscht zwischen zwei Phasen; die Spannung zwischen einer Phasenleitung und dem Nullpunkt (Sternpunkt) ist dagegen im Hauptwerk $\frac{2000}{\sqrt{3}}$ Volt, im Nebenwerk $\frac{1900}{\sqrt{3}}$ Volt, sinkt also in der Leitung um $\frac{100}{\sqrt{3}}$ Volt. Bezeichnet in der Abbildung 44 die Strecke $\overline{OA}$ die Richtung und Größe dieser Endspannung $\frac{1900}{\sqrt{3}}$ zwischen einer bestimmten Phase und Null und $\overline{Oi}$ die Richtung des Vektors des Stromes i in dieser Phasenleitung, ferner R den Widerstand e i n e r P h a s e der Leitung (also in dem häufigsten Falle, daß die Leitung aus drei Seilen, jede Phase aus einem Seile besteht, den Widerstand eines Seiles), so ist zum Durchtreiben des Stromes i durch den Leitungswiderstand R, da Freileitungen und Kabel bei mäßigen Längen im allgemeinen nur geringe Selbstinduktion und Kapazität besitzen, eine Spannung von $i \cdot R$ Volt erforderlich, die in derselben Richtung wie i liegt. Um diesen Betrag muß daher die Anfangsspannung größer sein als die Endspannung; die Anfangsspannung $\overline{OB}$ entsteht daher, wenn man an $\overline{OA}$ in A eine Strecke $\overline{AB} = i \cdot R$ in der Richtung von i abträgt. Von der Spannung OB ist ihr Zahlenwert $\frac{2000}{\sqrt{3}}$ bereits gegeben.

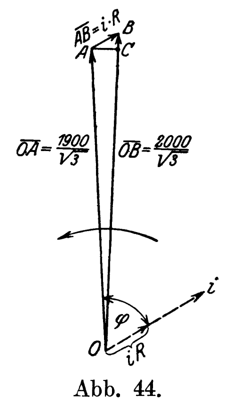


Abb. 44.

Bei Anlagen mit gutem Wirkungsgrad ist stets $\overline{BA}$ klein gegen $\overline{OA}$ und $\overline{OB}$, so daß die Vektoren $\overline{\dot{O}A}$ und $\overline{\dot{O}B}$ nur einen sehr kleinen Winkel miteinander bilden. Der gegebene Leistungsfaktor 0,75, der eigentlich den cos des Winkels φ zwischen i und $\overline{OA}$ bedeutet, ist daher nahezu auch gleich dem $\cos \sphericalangle (i, \overline{OB})$ und daher auch gleich $\cos \sphericalangle ABO$. Fällt man von A das Lot $\overline{AC}$ auf $\overline{OB}$, so wird nahezu $\overline{CO} = \overline{OA}$ und $\overline{BC} = \overline{OB} - \overline{OA}$, das ist gleich dem Spannungsabfall in der einen Phase, dessen Betrag bereits zu $\frac{100}{\sqrt{3}}$ Volt ermittelt war. Andererseits ist $\overline{BC} = \overline{AB} \cdot \cos \sphericalangle (ABC) = i \cdot R \cdot \cos \varphi$, so daß die Beziehung folgt:

$$i \cdot R \cdot \cos \varphi = \frac{100}{\sqrt{3}},$$

und nach Einsetzen der bekannten Größen:

$$324 \cdot R \cdot 0{,}75 = \frac{100}{\sqrt{3}}; \quad R = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 324 \cdot 0{,}75} \text{ Ohm.}$$

Daraus und aus $R = \frac{\varrho \cdot l}{q}$ folgt dann

$$\frac{100}{\sqrt{3} \cdot 324 \cdot 0{,}75} = \frac{4300 \text{ (Meter!)}}{57 \cdot q}$$

und daraus

$$q = \frac{4300 \cdot \sqrt{3} \cdot 324 \cdot 0{,}75}{57 \cdot 100} = \mathbf{317{,}5\ qmm.}$$

Der Querschnitt ist auf den nächsthöheren Normalquerschnitt von 400 qmm aufzurunden, bei dem mit Rücksicht auf Erwärmung eine Stromstärke von 570 Amp in jeder Phase zulässig ist (Vorschriften und Normen des Verbandes deutscher Elektrotechniker 1923, S. 309) und der also auch hinsichtlich Erwärmung genügt. Da dies Kabel schon sehr dick und steif wird, könnte man es auch etwa in zwei parallel zu schaltende Kabel von je 185 qmm Kupferquerschnitt pro Phase zerlegen. Im letzteren Falle wären etwa zu bestellen: „8,6 km verseiltes eisenbandarmiertes asphaltiertes Dreileiterbleikabel von 3 × 185 qmm Kupferquerschnitt."

Wird die Aufgabe ganz in Buchstaben durchgeführt, wobei p den Spannungsabfall in Prozenten der Anfangsspannung E, und l die Tracenlänge in Metern bedeutet (in der Aufgabe war also $p = 5$, $E = 2000$, und $l = 4300$), so wird

$$i = \frac{N \cdot 100}{E \cdot (100 - p) \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3}} \text{ Amp},$$

$$R = \frac{E \frac{p}{100}}{\sqrt{3} \cdot i \cdot \cos\varphi} = \frac{E \cdot p \cdot E\,(100 - p) \cos\varphi \sqrt{3}}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot N \cdot 100}$$

$$= \frac{E^2 p\,(100 - p)}{N \cdot 100 \cdot 100} \text{ Ohm},$$

$$q = \frac{\varrho\, l}{R} = \frac{\varrho \cdot l \cdot N \cdot 10000}{E^2 p \cdot (100 - p)} \text{ qmm},$$

woraus sich ergibt, daß der Querschnitt unabhängig von $\cos\varphi$ ist, wenn Länge und Metall der Leitung, Spannung und Spannungsverlust sowie die zu übertragende Leistung vorgeschrieben sind und die Leitung nur auf Spannungsverlust berechnet werden soll.

Oft werden Drehstromleitungen nicht auf Spannungsabfall, sondern auf Leistungsverlust berechnet, auf den hier keine Rücksicht genommen ist.

52. Das Maximum der übertragenen Leistung wird erzielt, wenn der Riemen im straffen Trum bis an die zulässige Grenze auf Zug beansprucht wird und gleichzeitig das schlaffe Trum so schlaff ist, wie es die Vermeidung des Rutschens noch eben zuläßt.

Der höchstzulässige Zug P' im straffen Trum in kg ergibt sich aus den Angaben der Aufgabe bei einem Riemenquerschnitt von $26 \cdot 0{,}5 = 13\ \text{cm}^2$ und bei der höchstzulässigen spezifischen Beanspruchung von $20\ \text{kg/cm}^2$ zu $P' = 20 \cdot 13 = 260$ kg.

Ist P'' der vom schlaffen Riementrum auf die Scheibe ausgeübte Zug in kg, so beginnt das Rutschen, wenn $P' = P'' \cdot e^{\mu\alpha}$ ist.

In diesem Falle ist die auf den Pumpenscheiben-Umfang übertragene Kraft $P = P' - P'' = P'\left(1 - \frac{1}{e^{\mu\alpha}}\right)$ kg und die übertragene Leistung $P'\left(1 - \frac{1}{e^{\mu\alpha}}\right) v$ mkg/sek, wenn v die Riemengeschwindigkeit in m/sek bedeutet, oder

$$P'\left(1 - \frac{1}{e^{\mu\alpha}}\right)\frac{v}{75} \text{ PS}.$$

Wenn gleichzeitig die zulässige Höchstbeanspruchung des Riemens von 260 kg und die Rutschgrenze erreicht wird (etwa indem man die Belastung bis zur Rutschgrenze steigert und dann den

Riemen durch Verschieben der Pumpe wieder ein wenig spannt, und dies abwechselnd fortsetzt, bis die höchstzulässige Spannung erreicht ist), so ist demnach die übertragbare Leistung

$$260\left(1-\frac{1}{e^{\mu\alpha}}\right)\frac{v}{75}\ \mathrm{PS}.$$

Der Wert von v ergibt sich aus der minutlichen Drehzahl der Dampfmaschine (120) und dem Riemenscheibendurchmesser der Dampfmaschine (1,4 m) zu

$$v=\frac{\pi\cdot 120\cdot 1{,}4}{60}=8{,}8\ \mathrm{m/sek}.$$

Zu bestimmen bleibt daher nur noch der Wert $e^{\mu\alpha}$, wobei die Werte $\alpha=\pi=3{,}14$ (entsprechend 180^0) und $\mu=0{,}47$ gegeben sind:

$$\mu\alpha=0{,}47\cdot 3{,}14=1{,}475;\quad \log_{10}e=0{,}4346;$$
$$\log_{10}(e^{\mu\alpha})=0{,}4346\cdot 1{,}475=0{,}642;\quad e^{\mu\alpha}=4{,}39:$$
$$1-\frac{1}{e^{\mu\alpha}}=1-\frac{1}{4{,}39}=1-0{,}228=0{,}772.$$

Daraus ergibt sich dann die größte übertragbare Leistung zu

$$\frac{260\cdot 0{,}772\cdot 8{,}8}{75}\ \mathrm{PS}=\mathbf{23{,}6\ PS.}$$

Der Zug im schlaffen Trum ist dabei $\frac{260}{4{,}39}=59$ kg und die auf den Scheibenumfang der Pumpe übertragene Kraft ist $260-59=201$ kg. Im wirklichen Betriebe wird man natürlich nicht bis an die Rutschgrenze herangehen, sondern sich mit einer geringeren übertragenen Leistung begnügen.

53. Zu 1. Die beiden Lampen sind, wenn man nicht verschwenden will, in Reihe zu schalten, und erfordern dann zusammen $2\cdot 47=94$ Volt. In der Leitung müssen daher $110-94=16$ Volt vernichtet werden. Da dieser Spannungsabfall bei einem Strom von 12 Amp stattfinden soll, muß die Leitung einen Widerstand von $\frac{16\ \mathrm{Volt}}{12\ \mathrm{Amp}}=1{,}33$ Ohm haben.

Da die Entfernung von der Schalttafel bis zur letzten Lampe 225 m ist, beträgt die Drahtlänge (Hin- und Rückleitung zusammen) 450 m. Sie zerfalle in eine Kupferlänge l_{Cu} und eine Eisenlänge l_{Fe}. Dann ergeben sich aus dem Vorstehenden die folgenden zwei Gleichungen, in denen der spezifische Widerstand

des Kupfers zu $\frac{1}{57}$, der des Eisendrahtes zu 0,143 angesetzt ist:

1. Gesamtlänge $= l_{Cu} + l_{Fe} = 450$; $l_{Fe} = 450 - l_{Cu}$.
2. Gesamtwiderstand der Leitung

$$= \frac{l_{Cu}}{57 \cdot 10} + \frac{l_{Fe} \cdot 0{,}143}{19{,}64} = 1{,}33 \text{ (Ohm)}.$$

Aus 1. und 2. folgt:

$$\frac{l_{Cu}}{570} + \frac{450 \cdot 0{,}143}{19{,}64} - \frac{l_{Cu} \cdot 0{,}143}{19{,}64} = 1{,}33;$$

$$l_{Cu} \cdot (0{,}00175 - 0{,}0073) = 1{,}33 - 3{,}28;$$

$$-l_{Cu} \cdot 0{,}00555 = -1{,}95;$$

$$l_{Cu} = \frac{1{,}95}{0{,}00555} \approx \mathbf{350\ Meter};$$

$$l_{Fe} = 450 - 350 = \mathbf{100\ Meter}$$

(vgl. die Abbildung 45).

Abb. 45.

Probe: Kupferstrecke: $\frac{350}{57 \cdot 10} = 0{,}615$ Ohm;

Eisenstrecke: $\frac{100 \cdot 0{,}143}{19{,}64} = 0{,}728$ Ohm;

Summe . . . . 1,343 Ohm,

was hinreichend genau mit dem erforderlichen Gesamtwert des Leitungswiderstandes von 1,33 Ohm übereinstimmt.

Zu 2. Die Grenzwerte l_1 und l_2 für die Gesamtlänge sind diejenigen Werte, bei denen die ganze Länge nur aus dem angegebenen Eisendraht oder nur aus dem angegebenen Kupferdraht bestehen müßte, damit die Leitung den erforderlichen Widerstand von 1,33 Ohm hat.

Ganz aus Kupfer bestehen müßte sie, wenn die Beziehung gilt:

$$\frac{l_1}{57 \cdot 10} = 1{,}33, \text{ woraus folgt: } l_1 = \mathbf{760\ Meter.}$$

Ganz aus Eisen müßte sie bestehen, wenn die Beziehung gilt:

$$\frac{l_2 \cdot 0{,}143}{19{,}64} = 1{,}33, \text{ woraus folgt: } l_2 = \mathbf{183\ Meter.}$$

Die Bedingung zu 1. ist also überhaupt nur dann erfüllbar, wenn die mit 225 m angegebene Streckenlänge zwischen $\frac{760}{2}$ und $\frac{183}{2}$, das ist zwischen 91,5 und 380 m liegt. (Bei Überschreitung dieser Grenzen würde die rein arithmetische Behandlung

entweder für l_{Cu} oder für l_{Fe} einen negativen Wert ergeben, der praktisch keinen Sinn hat.)

54. Zur Verfügung stehen in 24 Stunden 120000 m³ Gas von 775 mm Hg und 123° C. Umgerechnet auf 1 Stunde und auf 760 mm Hg und 0° C sind das $\frac{120000 \cdot 775 \cdot 273}{24 \cdot 760 \cdot 396} = 3520$ cbm/Std.

Zu a). 1 kg Sattdampf von 12 at Überdruck oder 13 at abs enthält gemäß den Dampftabellen 668,9 WE mehr als 1 kg Wasser von 0° C, und hat eine Temperatur von 190,6° C. Die Überhitzung beträgt daher 320 — 190,6 = 129,4° C. Die mittlere spezifische Wärme des überhitzten Dampfes zwischen diesen Grenzen ist (gemäß Hütte 1923, I., S. 505. — Dubbel I., S. 402. — Freytag S. 483) etwa $0{,}55 \frac{\text{WE}}{\text{kg} \cdot {}^0\text{C}}$. Die für die Überhitzung erforderliche Wärmemenge beträgt daher $129{,}4 \cdot 0{,}55 = 71{,}2$ WE/kg.

Die gesamte zur Erzeugung von 1 kg Dampf aus Wasser von 40° erforderliche Wärmemenge ist demgemäß 668,9 + 71,2 — 40 = 700,1 WE/kg.

Diejenige Gasgewichtsmenge, die bei 760 mm Hg und 0° C ein Volumen von 1 cbm einnehmen würde, hat gemäß den Angaben einen Heizwert von 900 WE. Wird sie auf 123° C gebracht, so tritt zu diesem unveränderlichen Heizwert noch der durch die Temperaturerhöhung um 123° C bedingte Wärmeinhalt hinzu. Bei einer spezifischen Wärme des Gases von 0,24 WE pro kg und °C ergibt das nochmals $123 \cdot 0{,}24 = 29{,}5$ WE pro kg. Nun wiegt 1 cbm Luft von 0° C und 760 mm Hg 1,29 kg, 1 cbm Gichtgas von 0° C und 760 mm Hg daher $0{,}98 \cdot 1{,}29 = 1{,}264$ kg. Für diejenige Gasgewichtsmenge, die bei 760 mm Hg und 0° C ein Volumen von 1 cbm einnehmen würde, beträgt daher der durch die hohe Temperatur des Gases bedingte Zuschlag an Wärmeinhalt $1{,}264 \cdot 29{,}5 = 37{,}3$ WE, und die Summe von chemischem Heizwert und diesem Zuschlag somit 900 + 37,3 = **937,3 WE.**

Mit dieser Wärmemenge bezw. Gasmenge kann bei einem Wirkungsgrad der Kesselanlage von 75% eine Dampfmenge von $\frac{937{,}3 \cdot 0{,}75}{700{,}1} = 1{,}004$ kg erzeugt werden. Da stündlich das 3520 fache dieser Gasmenge zur Verfügung steht, genügt demnach das Gas zur Erzeugung von $3520 \cdot 1{,}004 = 3534$ kg Dampf pro Stunde.

Mit dieser Dampfmenge können die Dampfmaschinen

$$\frac{3534}{5{,}2} = 679{,}6 \frac{\text{PS}_i\text{-Std}}{\text{Std}} \text{ oder } 679{,}6 \cdot 0{,}91 = 618{,}4 \frac{\text{PS}_e\text{-Std}}{\text{Std}}$$

erzeugen, die die Dynamomaschinen in

$$618{,}4 \cdot 0{,}736 \cdot 0{,}94 = 427{,}8 \, \frac{\text{kWStd}}{\text{Std}} \text{ umsetzen.}$$

Die erzielbare Dauerleistung mittels Dampfanlage beträgt daher **428 kW.**

Zu b). Die Gasmaschinen erzeugen aus je 2,4 cbm Gas, gemessen bei 0^0 C und 760 mm Hg, eine PS_e-Std. Die verfügbaren 3520 cbm/Std ergeben daher $\frac{3520}{2{,}4} = 1467 \; PS_e$ und $1467 \cdot 0{,}736 \cdot 0{,}94 =$ **1015 kW,** also reichlich doppelt soviel als die Dampfanlage.

(Für die Wahl der Dampfanlage sprechen dagegen die niedrigeren Anlagekosten, die geringeren Ausgaben für Verzinsung, Tilgung, Instandhaltung, Bedienung, Schmierung, der geringere Platzbedarf, die größere Betriebssicherheit und die höhere Überlastbarkeit. Im Einzelfall sind diese beiderseitigen Vorzüge gegeneinander abzuwägen.)

55. Zu 1. Im beistehenden Zeunerschen Schieberdiagramm (Abb. 46) bedeutet α den Voreilwinkel, ϱ die Exzentrizität und a_1 die äußere Überdeckung. Letztere ergibt sich aus den gegebenen Schieberabmessungen zu

$$\frac{268 - (180 + 34)}{2} = \frac{268 - 214}{2} = \frac{54}{2} = 27 \text{ mm.}$$

Soll die Einströmung genau in der Kurbel-Totpunktlage beginnen, so muß der Schieberkreis den Kreis um O mit a_1 als Radius auf der Horizontalen durch O schneiden (Punkt c). Dann ist $Oc = a_1$; $Og = \varrho$; $\sphericalangle Ocg = 90^0$; $\sphericalangle Ogc = \alpha$ (Voreilungswinkel).

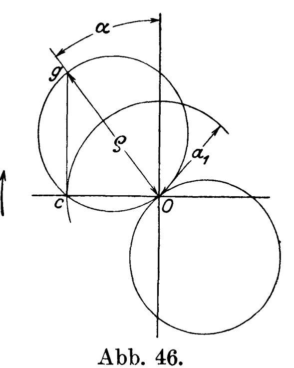


Abb. 46.

Daraus folgt

$$\sin \alpha = \frac{cO}{gO} = \frac{a_1}{\varrho} = \frac{27}{48} = 0{,}563;$$

$$\alpha = 34^1/_2{}^0.$$

Der Winkel zwischen Kurbel und Exzentrizität beträgt daher

$$90^0 + 34^1/_2{}^0 = 124^1/_2{}^0.$$

Zu 2. Die Abbildung zeigt, daß eine Verringerung von α das unzulässige verspätete Einströmen ergeben würde. Der Winkel darf daher nicht kleiner, wohl aber größer gewählt werden als $124^1/_2{}^0$.

56. Aus den Angaben 400 PS und $\eta = 0{,}95$ ergibt sich der Wattverbrauch des Motors bei Voll-Last zu $\frac{400 \cdot 736}{0{,}95}$ Watt.

Sein Stromverbrauch bei Voll-Last ist daher (gemäß $N = e \cdot i \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi$):

$$i = \frac{N}{e \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi} = \frac{400 \cdot 736}{0{,}95 \cdot 500 \cdot \sqrt{3} \cdot 0{,}85} = 420 \text{ Amp.}$$

Gemäß den Angaben der Aufgabe folgt daraus der Stromverbrauch bei Stillstand, aber angeschlossenem Motor, zu $0{,}4 \cdot 420 = 168$ Amp. Der Wattverbrauch bei Stillstand, aber bei angeschlossenem Motor, ist folglich, da hierbei der Leistungsfaktor, wie angegeben, 0,15 beträgt: $168 \cdot 500 \cdot \sqrt{3} \cdot 0{,}15 = 21\,800$ Watt $= 21{,}8$ kW.

Die gesuchte Verschwendung in 2 Stunden beträgt somit:

43,6 kWStd a 0,1 Goldmark = **4,36 Goldmark.**

57. Zu 1. Die Aufschrift der Indikatorfeder: „1 kg = 0,6 mm" ist insofern ungenau, als nicht „1 kg" gemeint ist, sondern „1 at" (= 1 kg/cm^2). (Diese Ungenauigkeit ist bei diesen Federaufschriften merkwürdigerweise sehr verbreitet.)

Beim Kolben von 9,06 mm ∅ entspricht also 1 at einer Diagrammhöhe von 0,6 mm. Der benutzte Kolben hatte aber eine größere Fläche, die sich zu der des Kolbens von 9,06 mm ∅ verhält wie $\left(\frac{14{,}35}{9{,}06}\right)^2 : 1 = 2{,}5 : 1$. Bei diesem Kolben gibt daher 1 at eine 2,5 mal so große Kraft auf die Feder und daher auch einen 2,5mal so hohen Ausschlag des Schreibstiftes als bei dem kleinen Kolben, also $2{,}5 \cdot 0{,}6 = 1{,}5$ mm. Es gilt also für die wirklich benutzte Kombination von Feder und Kolben:

$$1 \text{ at} = 1{,}5 \text{ mm}; \quad 1 \text{ mm} = \frac{1}{1{,}5} = \frac{2}{3} \text{ at};$$

$$47 \text{ mm} = 47 \cdot \frac{2}{3} = 31{,}3 \text{ at.}$$

Dies ist somit der höchste im Zylinder aufgetretene Druck.

Der Zylinderquerschnitt beträgt $23^2 \cdot \pi/4$ cm^2, der höchste Druck auf den Deckel daher $23^2 \cdot \pi/4 \cdot 31{,}3 = 13\,000$ kg. Auf jede Schraube entfällt davon $^1/_8$ oder 1625 kg. Da die Schraube einen Querschnitt von $3{,}6^2 \cdot \pi/4$ cm^2 hat, so ist die durch den Druck im Zylinder hervorgerufene Zugbeanspruchung der Schrauben $\frac{1625}{3{,}6^2 \pi/4}$ **= 162 kg/cm^2.**

Zu 2. Die Tabelle der zulässigen Belastungen für Maschinenkonstruktionen nach Bach (Bernoulli S. 178. — Hütte 1923, I., S. 604.—Dubbel I., S. 435.—Freytag S. 90) ergibt für Flußeisen, Zug k_z, Spalte *b* (wechselnde Beanspruchung gleichen Vorzeichens), den Wert 600 bis 1000 kg/cm². Für sorgfältig hergestellte Schrauben gilt nach Bach (gemäß Bernoulli S. 186. — Dubbel I., S. 644. — Freytag S. 134. — Hütte 1923, I., S. 897) $k_z = 600$ **kg/cm²**.

Zu 3. Weil der Druck im Zylinder gelegentlich viel höher sein kann als 32 at, insbesondere beim unvorsichtigen Anlassen, ferner weil die ursprüngliche Montagebeanspruchung sowie die Beanspruchung durch Ausdehnung des Deckels infolge Erwärmung hinzukommen, auch weil nicht sicher ist, daß der Druck sich auf alle Schrauben gleichmäßig verteilt.

58. Der von der Zentrale *A* nach *G* fließende Strom von 200 Amp hat von *A* bis *D* drei Wege zur Verfügung (*AB CD*, *AD*, *AEFD*), die er nach dem Verhältnis ihres Leitwertes alle zugleich benutzt; von *D* bis *G* hat er nur einen Weg. Der Gesamtwiderstand von *A* bis *G* ist daher gleich dem Gesamtwiderstand von *A* bis *D* plus dem Widerstand *DG*.

Statt des Gesamtwiderstandes (oder „kombinierten Widerstandes") zwischen *A* und *D* berechnet man zweckmäßig den Gesamtleitwert zwischen *A* und *D*, der sich aus der Summe der Einzelleitwerte der drei genannten Wege ergibt. (Kosack S. 11. — Hütte 1923, II., S. 971. — Dubbel II., S. 754. — Freytag S. 1065). Der Leitwert jedes Einzelweges ist das Reziproke des betreffenden Einzelwiderstandes (Kosack S. 5). Der Widerstand eines unverzweigten Weges ergibt sich, falls sein Querschnitt nicht überall gleich groß ist, als die Summe der Widerstände seiner Einzelstrecken (Kosack S. 11. — Dubbel II., S. 754 — Freytag S. 1065.). Bei konstantem Querschnitt ist der Widerstand für Hin- und Rückleitung zusammen, in Ohm: $\frac{2\varrho l}{q}$, wenn l die Streckenlänge in Metern, q den Querschnitt eines Poles in qmm und ϱ den spezifischen Widerstand des Leitungsmetalles in $\frac{\text{Ohm} \cdot \text{Meter}}{\text{qmm}}$ bezeichnet. Für Kupfer ist der Wert von ϱ etwa $\frac{1}{57} = 0{,}0175$. (Kosack S. 5. — Bernoulli S. 520. — Hütte 1923, II., S. 1154, 972. — Dubbel II., S. 753. — Freytag S. 1066).

Demgemäß ergibt sich zur Ermittelung des Gesamtwiderstandes von *A* nach *G* folgender Rechnungsgang:

Widerstand $ABCD$ (vgl. Abb. 47):

$$2 \cdot \frac{1}{57} \cdot \left(\frac{200}{150} + \frac{50 + 200}{70}\right) \Omega = \frac{2}{57} (1{,}333 + 3{,}58)$$

$$= \frac{2 \cdot 4{,}91}{57} = \mathbf{0{,}172}\ \Omega;$$

Widerstand $AEFD$ (vgl. Abb. 48):

$$2 \cdot \frac{1}{57} \left(\frac{150 + 50}{100} + \frac{150}{50}\right) \Omega = \frac{2}{57} \cdot \frac{200 + 300}{100} = \frac{1000}{57 \cdot 100} = \mathbf{0{,}175}\ \Omega;$$

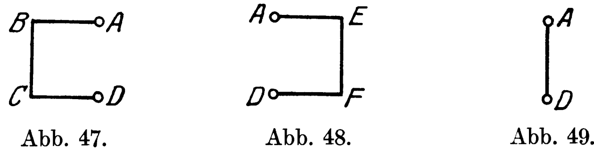


Abb. 47. Abb. 48. Abb. 49.

Widerstand der direkten Strecke AD (vgl. Abb. 49):

$$2 \cdot \frac{1}{57} \cdot \frac{100}{50} = \frac{4}{57} = \mathbf{0{,}070}\ \Omega;$$

Leitwert des gesamten Netzes zwischen A und D (vgl. Abb. 50):

$$\frac{1}{0{,}172} + \frac{1}{0{,}175} + \frac{1}{0{,}070} \text{ Siemens} = 5{,}81 + 5{,}70 + 14{,}3 = 25{,}8 \text{ Siemens.}$$

Widerstand des gesamten Netzes zwischen A und D:

$$\frac{1}{25{,}8} = 0{,}0388\ \Omega;$$

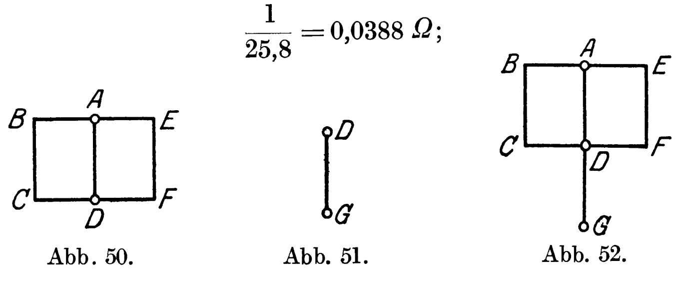


Abb. 50. Abb. 51. Abb. 52.

Widerstand der Strecke DG (vgl. Abb. 51):

$$\frac{2}{57} \cdot \frac{200}{95} = \mathbf{0{,}0727}\ \Omega;$$

Widerstand des gesamten Netzes zwischen A und G (vgl. Abb. 52):

$$0{,}0388 + 0{,}0727 = \mathbf{0{,}1115}\ \Omega.$$

Der Gesamt-Spannungsabfall von A bis G bei einem Strom von 200 Amp ergibt sich daraus gemäß $\varepsilon = iR$ (Kosack S. 273. — Bernoulli S. 524. — Hütte 1923, II., S. 1155. — Dubbel II., S. 753) zu $200 \cdot 0{,}1115 =$ **22,3 Volt** (oder 10,1 % der Zentralenspannung).

Bei G verbleibt daher noch eine Spannung von

$$220 - 22{,}3 = \mathbf{197{,}7\ Volt.}$$

59. Aus der Tabelle Bernoulli S. 399 ergeben sich für gute Braunkohle und gute Ausnutzung die folgenden üblichen Werte[1]):

1. Auf je 1 qm Rostfläche werden pro Stunde etwa 120 kg Kohle verbrannt;

2. für je 1 qm Heizfläche werden pro Stunde etwa 17 kg Dampf erzeugt;

3. mit je 1 kg Kohle werden etwa 4,5 kg Dampf erzeugt.

Aus 2. und dem höchsten stündlichen Dampfbedarf von 40000 kg folgt, daß gleichzeitig bis zu $\frac{40000}{17} = 2350$ qm Kesselheizfläche, also bis zu $\frac{2350}{250} = 9{,}4$ Kessel, das heißt bis zu 10 Kes-

[1]) Ähnliche Werte sind in den anderen Handbüchern an den folgenden Stellen angegeben:

Die Hütte 1923 gibt zu 1. im II. Bd., S. 38 für den dort B/R genannten Wert die Zahlen 100 bis 120 $\frac{\text{kg}}{\text{qm} \cdot \text{Std}}$; zu 2. im II. Bd., S. 18 für den dort M genannten Wert für mittlere Wasserrohrkessel die Zahlen 20 bis 22 $\frac{\text{kg}}{\text{qm} \cdot \text{Std}}$; zu 3. im II. Bd., S. 39 für den dort D/B genannten Wert die Zahlen 5,3 bis 5,4.

Dubbel gibt zu 1. in Bd II, S. 3 unter der Benennung B/R für Braunkohlenbriketts die Zahlen 120 bis 180 $\frac{\text{kg}}{\text{qm} \cdot \text{Std}}$; zu 2. in Bd II, S. 4 unter der Benennung D/H für Kammer-Wasserrohrkessel bei normaler Anstrengung die Zahl 18; zu 3. in Bd II, S. 5 unter der Bezeichnung $d = D/B$ für Braunkohlenbriketts und mitteren Wärme-Inhalt des Dampfes von 650 Kal/kg die Zahlen 3,0 bis 4,8.

Freytag gibt zu 1. auf S. 633 unter der Benennung B/R für Steinkohle bei normalem Betrieb die Zahlen 80 bis 100 $\frac{\text{kg}}{\text{qm} \cdot \text{Std}}$ und für Braunkohle das 1,5- bis 2,5fache davon, also etwa 140 bis 175 $\frac{\text{kg}}{\text{qm} \cdot \text{Std}}$; zu 2. auf S. 634 unter der Benennung D/H für Wasserrohrkessel bei normaler Verbrennung die Zahlen 20 bis 22 $\frac{\text{kg}}{\text{qm} \cdot \text{Std}}$; zu 3. auf S. 633 unter der Benennung x für böhmische Braunkohle die Werte 5,4 bis 5,5.

sel in Betrieb sein müssen. Beschafft werden müssen daher $10 \cdot \frac{4}{3} = 13{,}3$ Kessel, das heißt **14 Kessel.**

Jeder der 10 Kessel muß stündlich $\frac{40000}{10} = 4000$ kg Dampf erzeugen und dazu gemäß 3. stündlich $\frac{4000}{4{,}5} = 890$ kg Kohle verbrennen. Dazu ist gemäß 1. eine Rostfläche von $\frac{890}{120} = $ **7,42 qm** erforderlich.

60. a) Rohe Berechnung.

Die Geschwindigkeit der Flasche V von $\frac{45{,}5 \text{ m}}{87{,}4 \text{ sek}} = 0{,}52$ m/sek wird als mittlere Wassergeschwindigkeit angenommen. Der Querschnitt des Wasserstromes beträgt $1{,}18 \cdot 0{,}62 \text{ m}^2$. Die Wasserstromstärke beträgt daher $0{,}52 \cdot 1{,}18 \cdot 0{,}62 = 0{,}38$ cbm/sek oder $0{,}38 \cdot 3600 =$ **1370 cbm/Std.**

b) Genauere Berechnung. Die Berechnung unter a) ist insofern ungenau, als in Wirklichkeit die mittlere Geschwindigkeit v des Wassers kleiner ist als seine größte Geschwindigkeit V, die bei Kanälen in der Mitte, und zwar nahe der Oberfläche eintritt und die daher als mit der Flaschengeschwindigkeit übereinstimmend angenommen werden kann.

Für das Verhältnis von v zu V gilt nach Versuchen von Darcy und Bazin gemäß Bernoulli S. 279 und S. 276 bei glatt gestrichenen Zementwänden:

$$\frac{v}{V} = \frac{1}{1 + 14\sqrt{0{,}00015\left(1 + \frac{0{,}03\,U}{F}\right)}}.$$

Darin bedeutet:

U den benetzten Teil des Profilumfanges, also die Summe der Boden- und Seitenkanten, soweit sie unterhalb des Wasserspiegels liegen, ohne die Wasserlinie selbst, in m; F die Querschnittsfläche des Wasserstromes, also den Inhalt des Kanalprofils bis zur Wasseroberfläche, in qm; $\frac{U}{F}$ das Verhältnis beider Werte, in m/qm. (Man beachte, daß der Zahlenwert dieses Verhältnisses stark von der gewählten Einheit abhängt, und z. B. in cm/qcm zehnmal kleiner wäre. Der Begriff ist eben nicht dimensionslos, wie sonst bei Verhältnissen üblich.)

Im vorliegenden Falle ergibt sich durch Einsetzen der gegebenen Zahlenwerte:

U (aus der Breite von 1,18 m und der Wassertiefe von 0,62 m)

$$= 1{,}18 + 2 \cdot 0{,}62 = 1{,}18 + 1{,}24 = 2{,}42\ \text{m};$$

$$F = 1{,}18 \cdot 0{,}62 = 0{,}73\ \text{m}^2.$$

Der Ausdruck unter der Wurzel wird daher:

$$0{,}00015 \cdot \left(1 + \frac{0{,}03 \cdot 2{,}42}{0{,}73}\right) = 0{,}00015 \cdot (1 + 0{,}0995)$$

$$= 0{,}00015 \cdot 1{,}1 = 0{,}000165.$$

Der Wurzelwert wird dann 0,0128 und es ergibt sich:

$$\frac{v}{V} = \frac{1}{1 + 14 \cdot 0{,}0128} = \frac{1}{1 + 0{,}179} = \frac{1}{1{,}179} = 0{,}848.$$

Ungefähr denselben Wert hätte man auch bequemer aus der Tabelle S. 279 für den Kanalzustand 1. (entsprechend glatten Wänden) und für $\frac{U}{F} = \frac{2{,}42}{0{,}73} = 3{,}3$ entnehmen können, wo für $\frac{U}{F} = 2$ der Wert 0,850 und für $\frac{U}{F} = 4$ der Wert 0,846 angegeben ist.

Demnach ist die mittlere Wassergeschwindigkeit v um rund 15% kleiner als vorhin unter a) angenommen wurde. Folglich ist auch die Wasserstromstärke um 15% kleiner als unter a) berechnet wurde, also nur gleich $0{,}85 \cdot 1370 =$ **1160 cbm/Std.**

61. a) Bei kleinen Vakuum-Metalldrahtlampen braucht je 1 HK etwa 1,1 Watt; 1200 Lampen von je 50 HK erfordern daher etwa $1200 \cdot 50 \cdot 1{,}1 = 66000$ Watt.

b) Bei großen gasgefüllten Metalldrahtlampen braucht je 1 HK etwa 0,6 Watt; 20 Lampen von je 2000 HK erfordern daher etwa $20 \cdot 2000 \cdot 0{,}6 = 24000$ Watt.

c) Der Wirkungsgrad der Motoren wird bei diesen Motorgrößen bei voller Belastung im Mittel etwa 90% betragen, der Gesamtleistungsfaktor für die vier Motoren zusammen bei voller Belastung etwa 0,85. Die Motoren brauchen daher bei voller Belastung für die Gesamtleistung von $75 + 20 + 50 + 10 = 155$ PS zusammen etwa:

$$\frac{155 \cdot 736}{0{,}9}\ \text{Watt oder}\ \frac{155 \cdot 736}{0{,}9 \cdot 0{,}85} = 149100\ \text{Volt-Ampere}.$$

Im ganzen muß der Transformator demnach etwa leisten:

$$66 + 24 + 149{,}1 = \mathbf{239{,}1\ KVA.}$$

Hierbei ist eine kleine Vernachlässigung im Interesse der Vereinfachung der Rechnung gemacht, indem die beiden Ströme der Glühlampen und der Motoren arithmetisch addiert sind statt geometrisch. Sie bilden miteinander einen Winkel φ, der gegeben ist durch $\cos\varphi = 0{,}85$, weil der Lampenstrom in Phase mit der Spannung ist, der Motorstrom dagegen um die Winkel φ hinter der Spannung her eilt. Die nächstbessere Annäherung an den genauen Wert des Gesamtstromes (richtiger: an das Produkt aus dem Gesamtstrom und der Spannung, ohne Rücksicht auf die zeitliche Verschiebung zwischen beiden, also zu messen in kVA) ist: $(66 + 24) \cdot 0{,}85 + 149{,}1 = 90 \cdot 0{,}85 + 149{,}1 = 76{,}5 + 149{,}1 =$ **225,6 KVA.** Der genaue, nach dem allgemeinen pythagoräischen Lehrsatz ermittelte Wert ist:

$$\sqrt{90^2 + 149{,}1^2 + 2 \cdot 90 \cdot 149{,}1 \cdot 0{,}85} = \sqrt{8100 + 22204 + 22812}$$
$$= \sqrt{53116} = \mathbf{230{,}5\ KVA.}$$

Diese Näherungsmethode trifft noch besser zu, wenn der eine der beiden Ströme klein ist gegen den andern, und zwar ist stets der kleine auf den großen zu projizieren, also mit $\cos\varphi$ zu multiplizieren, nicht umgekehrt. In der Abbildung 53, deren Maße nicht den Ziffern dieser Aufgabe entsprechen, bezeichnen $a = OE$ und $b = EA$ die beiden Ströme (hier 149,1 und 90), $c = OA = OB$ ihre geometrische Summe, also den richtigen Wert (hier 230,5), OC ihre arithmetische Summe, also einen zu großen Wert (hier 239,1), OD die Summe aus dem größeren Strom a und der Projektion des kleineren auf den größeren (ED), also einen zu kleinen Wert (hier 225,6). Dieser letztere Wert liegt aber sehr nahe beim richtigen, wenn b klein gegen a ist und φ, d. h. die Phasenverschiebung, nicht einen sehr großen Wert hat.

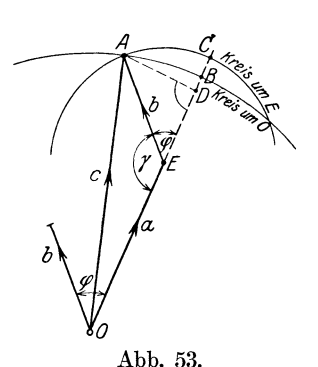


Abb. 53.

Wenn der Transformator nicht mit anderen Transformatoren primär und sekundär parallel geschaltet werden soll, kann die Schaltungsart dem Lieferanten überlassen bleiben; andernfalls müßte die Schaltgruppe (a, b, c, d) angegeben werden oder das Vektorbild oder Schaltbild[1]).

[1]) Vgl. Kosack S. 156. — Regeln für die Bewertung und Prüfung von Transformatoren, 1923, § 8. — Hütte 1923, II., S. 1086. — Dubbel II., S. 825.

Die Bestellung kann demnach etwa lauten: „Bestelle Drehstrom-Öltransformator, 240 Kavaua oder nächstgrößere Type, 5000 auf 220 Volt, Schaltgruppe *b*, Öl mitzuliefern.“

62. Ist d der Wellendurchmesser in cm, N die zu übertragende Leistung in PS, n die Zahl der Umdrehungen pro Minute, so ergibt gemäß den in der Aufgabe angezogenen Literaturstellen:

1. die Berechnung auf Einhaltung der zulässigen Beanspruchung des Wellenmaterials in bezug auf Verdrehung (mit 120 kg/cm²) den erforderlichen Mindestdurchmesser der Welle zu

$$d = \sqrt[3]{3000 \cdot \frac{N}{n}} = 14{,}4 \sqrt[3]{\frac{N}{n}};$$

2. die Berechnung auf Einhaltung der mit Rücksicht auf Schwingungen noch für zulässig erachteten höchsten Verdrehung von $\frac{1}{4}^0$ pro Meter den erforderlichen Mindestdurchmesser der Welle zu

$$d = 12 \sqrt[4]{\frac{N}{n}}.$$

(Man beachte, daß nach beiden Formeln dieselbe Welle (konstantes d) bei Steigerung von n eine höhere Leistung N übertragen kann.)

Da die neue Leistung $N = 50$ PS betragen soll und $d = 9{,}5$ cm gegeben ist, so ergibt sich aus beiden Gleichungen 1 und 2 je ein Wert für das neue erforderliche n, und zwar sind diese Werte für n Mindestwerte.

Aus 1. folgt:

$$9{,}5 = \sqrt[3]{3000 \cdot \frac{50}{n}}; \qquad 857 = \frac{3000 \cdot 50}{n}; \qquad n = \frac{150000}{857} = \mathbf{175.}$$

Aus 2. folgt:

$$9{,}5 = 12 \sqrt[4]{\frac{50}{n}}; \qquad 8145 = 20736 \cdot \frac{50}{n}; \qquad n = \frac{20736 \cdot 50}{8145} = \mathbf{127.}$$

Da beide Bedingungen erfüllt sein müssen und die berechneten Werte Mindestwerte sind, muß die Drehzahl der Welle auf mindestens **175 Umdr/min** erhöht werden.

63. Zu 1. Bei der durch das Schaltbild gekennzeichneten Verbindung liegt c an Erde, weil es sich um ein Dreileiternetz mit geerdetem Mittelleiter handelt. Zwischen a und Erde oder zwischen a und c herrscht die Betriebsspannung der „Minus-Dreileiterseite“, und zwar ist ihr Betrag durch die zweite Messung festgestellt zu 112,3 Volt.

Bei der ersten Messung drückte diese Spannung einen schwachen Strom durch das Voltmeter und durch die Isolierschichten (d. h. durch die Umhüllungen der Leitungen oder über die Kriechflächen der Isolatoren) des Zweiges A der Lichtanlage zur Erde. Je nach dem guten oder schlechten Zustande der Isolation dieses Zweiges gegen Erde wird dieser Strom kleiner oder größer ausfallen. Instrument und Isolationswiderstand sind dabei in Reihe geschaltet gemäß dem Schaltbild, Abb. 54.

Wesentlich für die Brauchbarkeit der Messung ist dabei, daß g e n a u d e r s e l b e Strom i sowohl das Instrument als den Isolationswiderstand durchfließt. (Damit dies wirklich zutrifft und nicht ein Teil des Instrumentenstromes schon zwischen Instrument und Isolationswiderstand zur Erde entweicht, muß das Instrument selbst gut isoliert aufgestellt werden und die Leitung fb tadellos isoliert sein, am besten frei durch die Luft geführt werden.) Ist diese Bedingung erfüllt, so gilt die folgende Proportion:

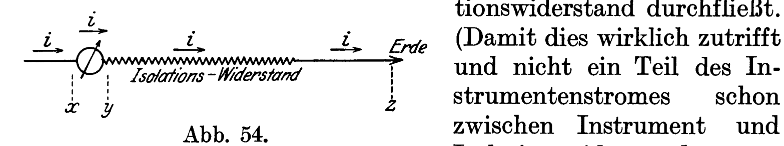


Abb. 54.

$$\frac{\text{Spannung zwischen } x \text{ und } y}{\text{Spannung zwischen } y \text{ und } z} = \frac{\text{Instrumentenwiderstand}}{\text{Isolationswiderstand.}}$$

Nun ist die Spannung zwischen x und y gemessen zu 34,4 Volt. (Denn ein Voltmeter gibt die z w i s c h e n s e i n e n K l e m m e n herrschende Spannung an!) Ferner ist die Spannung zwischen x und z gemessen zu 112,3 Volt. Die Spannung zwischen y und z folgt daraus zu $112{,}3 - 34{,}4 = 77{,}9$ Volt. Die Proportion lautet daher:

$$\frac{34{,}4}{77{,}9} = \frac{100000}{\text{Isolationswiderstand}},$$

woraus dann folgt:

$$\text{Isolationswiderstand} = 100000 \cdot \frac{77{,}9}{34{,}4} = \mathbf{227000\ Ohm.}$$

Zu 2. Auch wenn bei der ersten Messung der Schalter e offen und die Glühlampen aus den Fassungen herausgeschraubt sind, sind dennoch a l l e Leitungen des Zweiges A (infolge der Verbindung bd) mit a und daher mit dem Minuspol des Netzes verbunden, und es fließt daher auch dann durch j e d e mangelhaft isolierte Stelle des Zweiges A ein entsprechender Strom zur Erde ab. Es ist daher gleichgültig, wie Schalter e steht und ob die Lampen in den Fassungen sitzen oder nicht. Sollten dagegen Teile des zu prüfenden Zweiges A durch d o p p e l p o l i g e Schalter

oder doppelpolige Sicherungen abschaltbar sein, so müssen bei der Messung diese Schalter geschlossen bzw. diese Sicherungen eingesetzt sein. Andernfalls würden die Isolationsmängel des betreffenden Teiles der Anlage nicht mit ermittelt. (Bei Installationsanlagen mit blankem geerdeten Mittelleiter ist anders zu verfahren: Da muß die Verbindung bd fehlen; f wird nur mit dem isoliert verlegten Pol der Installation verbunden; alle Schalter müssen geschlossen, alle Sicherungen eingesetzt, alle Lampen entfernt sein.)

Zu 3. Das Instrument schlägt um so mehr aus, je geringer der Isolationswiderstand ist. Sinkt dieser auf den Wert Null (vollständiger „Erdschluß" des Zweiges A), so kommt die volle Betriebsspannung zwischen a und Erde, die bei diesem Beispiel 112,3 Volt betrug, auf das Instrument. Dies schadet dem Instrument nicht, wenn es für diese volle Betriebsspannung gebaut ist. Andernfalls könnte es bei der ersten Messung gefährdet sein, wenn nämlich der Isolationswiderstand erheblich kleiner ist, als man angenommen hatte. Bei der zweiten Messung ist natürlich nur ein Instrument brauchbar, das für die volle Spannung ac ausreicht. Doch kann man, wenn keine große Genauigkeit des Ergebnisses verlangt wird, diese zweite Messung oft ganz entbehren, und den Wert der Spannung ac (der sich ja in demselben Leitungsnetz nicht erheblich mit Ort und Zeit ändert) als bekannt annehmen.

Zu 4. Ist α_1 die erste Ablesung (vorhin 34,4°), α_2 die zweite Ablesung (vorhin 112,3°) und R_J der Instrumentenwiderstand (vorhin 100000 Ω), so ist der Isolationswiderstand R_{is}, wie vorhin abgeleitet:

$$R_{is} = R_J \cdot \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1}.$$

Darin ist bei gegebenem Instrument R_J unveränderlich. (Je größer R_J ist bei gleichem Ausschlag pro Volt, desto größere Werte von R_{is} kann man mit dem Instrument messen. Voltmeter mit kleinem Widerstand sind daher für Isolationsmessungen nicht brauchbar.) Bei gegebenem Instrument und gegebener Betriebsspannung ist auch α_2 unveränderlich. Soll nun R_{is} groß werden, so muß α_1 klein sein; bei $\alpha_1 = 0$ wird $R_{is} = \infty$. Ist α_1 sehr klein (beispielsweise nur wenige Skalenteile), α_2 aber groß (beispielsweise etwa 110°), so ändert sich der Zähler des Bruches $\alpha_2 - \alpha_1$ nur wenig, wenn α_1 schwankt, und der ganze Wert R_{is} ändert sich dann ungefähr umgekehrt proportional mit α_1. Eine Ungenauigkeit im Werte von α_1 um $\pm$ 10% ergibt dann auch für R_{is} eine Unsicherheit um etwa $\mp$ 10%. Ist dies die zulässige Fehlergrenze

für R_{is}, so darf daher α_1 nur so klein werden, daß seine Ablesung noch mit einer Fehlergrenze von $\pm 10\,\%$ möglich bleibt. Gestattet das Instrument (nach Qualität seines Baues und seiner Eichung sowie nach der Einrichtung von Zeiger und Skala) eine Ablesung des richtigen der Spannung entsprechenden Ausschlages mit einer Genauigkeit von $\pm 0{,}2^0$, so ist daher der kleinste noch brauchbare Wert von α_1 ein Ausschlag von 2^0 (bei dem $\pm 0{,}2^0$ gerade $\pm 10\,\%$ ausmachen). Der höchste mit der Betriebsspannung von etwa 110 Volt und mit einem solchen Instrument von 100000 Ω mit dieser Genauigkeit von $\pm 10\,\%$ meßbare Wert des Isolationswiderstandes beträgt daher etwa

$$100000 \frac{110-2}{2} \text{ oder rund } 100000 \frac{110}{2} = \mathbf{5500000\ Ohm.}$$

(Die Genauigkeit von $10\,\%$ ist für solche Messungen meistens durchaus hinreichend, weil der Isolationswiderstand keine konstante Größe ist, sondern von Temperatur, Feuchtigkeit und anderen Zufälligkeiten stark abhängt.)

64. Aus der geforderten Stundenleistung von 100000 kg und der Nutzlast pro Zug von 2000 kg ergibt sich die Anzahl der erforderlichen Züge pro Stunde zu $\frac{100000}{2000} = 50$. Daraus folgt die für einen Zug einschließlich der Sturzpause verfügbare Zeit zu $\frac{3600}{50} = 72$ Sek, also die pro Zug verfügbare Zeit ohne Sturzpause zu $72 - 15 = 57$ Sek.

In dem beigefügten Diagramm *a*, Abb. 55, in dem als Ordinate die Korbgeschwindigkeit, als Abszisse die Zeit eingetragen ist, ist demnach der Wert von $t_1 + t_2 + t_3 = 57$ Sek gegeben, außerdem die Höchstgeschwindigkeit von 15 m/sek.

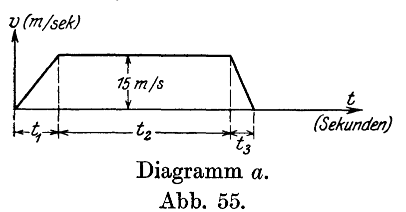


Diagramm *a*.
Abb. 55.

Da die Geschwindigkeit in der ersten Periode des Zuges (Beschleunigungsperiode) in t_1 Sek von 0 m/sek auf 15 m/sek anwächst und ein **lineares** Anwachsen von v nach t angenommen werden mag, so ist die Beschleunigung $p = \frac{15}{t_1}$ m/sek² oder $t_1 = \frac{15}{p}$ Sek. Entsprechend ist die Verzögerung in der letzten

Periode des Zuges (Verzögerungsperiode) $z = \frac{15}{t_3}$ m/sek² oder $t_3 = \frac{15}{z}$ Sek.

Ferner sollte die Verzögerung um 50% größer sein als die Beschleunigung, $z = 1{,}5\,p$, woraus dann folgt:

$$t_3 = \frac{15}{1{,}5\,p} = \frac{t_1}{1{,}5}\ \text{Sek.}$$

Die oben angegebene Beziehung für die Summe der drei Zeitspannen: $t_1 + t_2 + t_3 = 57$ wird daher jetzt

$$t_1 + t_2 + \frac{t_1}{1{,}5} = 57 = 1{,}667\,t_1 + t_2 \quad \text{(Gleichung 1).}$$

Der vom Förderkorb in der Beschleunigungsperiode durchlaufene Weg ist $\frac{15}{2} \cdot t_1$ Meter; der in der Periode konstanter Geschwindigkeit durchlaufene Weg ist $15\,t_2$ Meter, der Weg in der Verzögerungsperiode ist $\frac{15}{2}\,t_3$ Meter. (Die Wege werden auch durch die Flächeninhalte der entsprechenden Teile des Diagrammes *a* dargestellt.) Setzt man auch hier für t_3 den Wert $\frac{t_1}{1{,}5}$ ein, und berücksichtigt, daß die Summe der drei Wegeteile gleich der ganzen Zuglänge von 625 m sein muß, so ergibt sich als zweite Gleichung zwischen t_1 und t_2:

$$\frac{15}{2}\,t_1 + 15\,t_2 + \frac{15\,t_1}{2 \cdot 1{,}5} = 625; \quad 7{,}5\,t_1 + 5\,t_1 + 15\,t_2 = 625;$$

$$12{,}5\,t_1 + 15\,t_2 = 625. \quad \text{(Gleichung 2).}$$

Gleichung 1) ergibt bei Erweiterung mit dem Faktor 15:

$$25\,t_1 + 15\,t_2 = 855,$$

so daß durch Subtraktion beider Gleichungen folgt:

$$12{,}5\,t_1 = 230; \quad t_1 = \frac{230}{12{,}5} = 18{,}4\ \text{Sek}; \quad t_3 = \frac{t_1}{1{,}5} = \frac{18{,}4}{1{,}5} = 12{,}3\ \text{Sek};$$

$$t_2 = 57 - (t_1 + t_3) = 57 - 30{,}7 = 26{,}3\ \text{Sek.}$$

Die Beschleunigung ist daher $p = \frac{15}{t_1} = \frac{15}{18{,}4} = 0{,}815$ m/sek²,

die Verzögerung: $z = \frac{15}{t_3} = \frac{15}{12{,}3} = 1{,}22$ m/sek².

Danach ergeben sich die in Abbildung 56 und 57 als Diagramme b) und c) dargestellten maßstäblichen Kurvenzüge für v und p bzw. z über der Zeit als Abszisse.

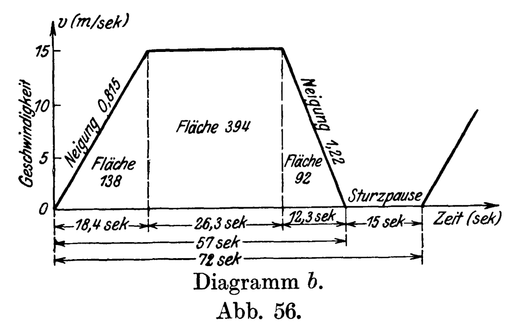


Diagramm b.
Abb. 56.

Der bei Beendigung der Beschleunigungsperiode zurückgelegte Weg entspricht dem Inhalt des ersten Dreiecks im v/t-Diagramm, ist also gleich: $\frac{1}{2}\cdot 15\cdot 18{,}4$ $= \mathbf{138}$ **Meter.** Bei dieser Höhenlage des Förderkorbes, gerechnet vom Beginn des Hubes an, muß daher die Beschleunigung aufhören und die gleichmäßige Bewegung beginnen.

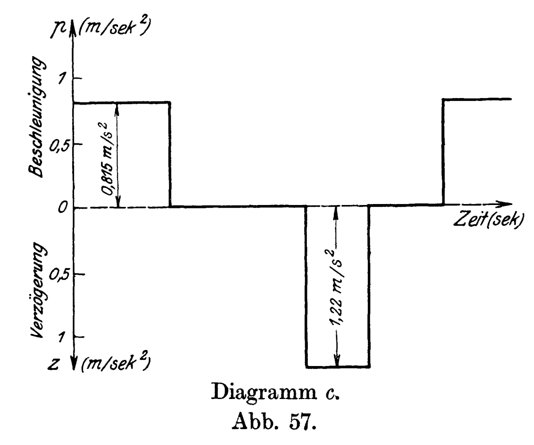


Diagramm c.
Abb. 57.

In der Zeit konstanter Geschwindigkeit wird ein Weg entsprechend dem Inhalt des Rechtecks durchlaufen von $15\cdot 26{,}3 = \mathbf{394}$ **Meter.** Bei der Korbhöhenlage von $394 + 138 = 532$ m, gerechnet vom Beginn des Hubes an, muß daher die Verzögerung beginnen.

Der Weg während der Verzögerungsperiode entspricht dem Inhalt des letzten Dreiecks, ist also

$$\frac{1}{2}\cdot 15\cdot 12{,}3 = \mathbf{92\ Meter.}$$

Als Probe auf die ganze Berechnung werden die drei gefundenen Wegstrecken addiert und ergeben: $138 + 394 + 92 = \mathbf{624}$ **m** gegenüber 625 m. Die kleine Abweichung erklärt sich durch die Abrundungen beim Rechnen.

65. 1. Bernoulli gibt S. 232 eine Schar von Kurven nach Bach mit der übertragbaren Leistung (in PS für je 10 cm der

Riemenbreite) als Ordinate und der Riemengeschwindigkeit v (in m/sek) als Abszisse.

Aus $n = 470$ (Umdr/min) und $D = 0{,}5$ (m) folgt

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}5 \cdot 470}{60} = 12{,}3 \text{ m/sek.}$$

Die Kurve für einfachen Riemen und einen kleinsten Scheibendurchmesser von 500 mm (die Scheibe auf der Transmission ist sicher größer, da die Transmission sicher langsamer läuft als der Motor!) ergibt bei $v \approx 12{,}3$ eine Ordinate von etwa 12 PS für je 10 cm Riemenbreite. Zur Übertragung von 100 PS ist daher eine Breite von etwa $\frac{100}{12} \cdot 10 \approx$ **83 cm** erforderlich.

2. Bernoulli gibt S. 231 für Lederriemen von b cm Breite und s cm Dicke (üblich etwa $s = 0{,}5$) die Faustregel $P = 10\,b\,s$, worin P die auf den Riemenscheiben-Umfang übertragene Kraft (in kg) ist, und ferner die exakte Beziehung $P = \frac{75\,N}{v}$, wenn N die übertragene Leistung in PS bedeutet. Daraus folgt hier:

$$P = \frac{75 \cdot 100}{12{,}3} = 610 = 10\,b\,s; \quad b\,s = \frac{75 \cdot 100}{12{,}3 \cdot 10} = 61 \text{ cm}^2.$$

Ist die Stärke $s = 0{,}65$ cm, so wird eine Breite von $b = \frac{61}{0{,}65}$ = **94 cm** erforderlich. Diese Berechnung ist nur roh, weil dabei die Abhängigkeit der zulässigen Beanspruchung pro cm Breite oder pro cm² der Querschnittsfläche von v vernachlässigt ist. Auch ist die Dicke s nicht von so großer Bedeutung, weil sie vom Gerbverfahren abhängt.

3. Die Hütte 1923, I., S. 1140 gibt nach Bach eine Tabelle mit Werten für k_n', das ist die zulässige nutzbar übertragene Umfangskraft in kg für je 1 cm Riemenbreite, abhängig vom kleineren Scheibendurchmesser und von der Riemengeschwindigkeit, die hier w heißt.

Für $D = 500$ mm gibt die Tabelle bei $w = 10$ m/sek den Wert $k_n' = 7$ und bei $w = 20$ m/sek den Wert $k_n' = 9$ an, so daß sich durch Interpolation für $w = 12{,}3$ m/sek etwa der Wert

$$7 + \frac{(9-7) \cdot (12{,}3 - 10)}{(20 - 10)} = 7 + \frac{2 \cdot 2{,}3}{10} = 7{,}46 \approx 7{,}5 \text{ kg/cm}$$

ergibt. Da die auf den Scheibenumfang zu übertragende Kraft gemäß den Ausführungen unter 2) 610 kg ist, wird daher eine Breite von $\frac{610}{7{,}5} \approx$ **81 cm** erforderlich.

Auf S. 1141 gibt die Hütte eine Tabelle für k_n' nach Gehrckens, aus der für $D = 500$ mm bei $w = 10$ m/sek der Wert 8 und bei $w = 20$ m/sek der Wert 10 zu entnehmen ist. Die Interpolation ergibt daher hier etwa 8,5, so daß die Breite $\frac{610}{8,5} \approx$ **72 cm** wird.

4. Dubbel gibt Bd I, S. 766 für die nutzbar auf die Scheibe zu übertragende Umfangskraft P (in kg) die Beziehung $P = b \cdot \delta \cdot k$ und für k den Wert 10 bis 15 kg/cm²; dabei bedeuten b und δ die Breite und Dicke des Riemens in cm. Diese Regel entspricht also etwa der Faustregel unter 2.

5. Dubbel I., S. 768 gibt in einer Tabelle nach Gehrckens für je 1 cm Riemenbreite sowohl die nutzbare Umfangskraft P_1 (in kg/cm) als auch die überrtragbare Leistung N (in PS/cm), beide Werte in Abhängigkeit von D und v.

Bei $D = 500$ mm gibt die Tabelle:

zu $v = 10$ m/sek für P_1 den Wert 8 kg/cm, für N den Wert 1,07 PS/cm,

zu $v = 20$ m/sek für P_1 den Wert 10 kg/cm, für N den Wert 2,67 PS/cm.

Die Werte für P_1 stimmen also mit den unter 3. zuletzt benutzten überein und ergeben daher ebenfalls die Breite von **72 cm.** Die Werte für N ergeben zu $v = 12,3$ durch Interpolation den Betrag von $1,07 + \frac{2,3}{10} \cdot 1,60 = 1,07 + 0,37 = 1,44$ PS/cm. Die erforderliche Riemenbreite wird dann $\frac{100\text{ PS}}{1,44\text{ PS/cm}} \approx$ **70 cm.** (Die kleine Abweichung entsteht durch die lineare Interpolation, die, genau genommen, nicht zulässig wäre.)

6. Freytag gibt S. 211/212 die Beziehungen $N = \frac{P \cdot v}{75} = \frac{p \cdot b \cdot v}{75}$, worin N die gesamte übertragene Nutzleistung in PS und p die übertragene Kraft pro cm Riemenbreite (in kg/cm) bedeutet, also denselben Wert wie k_n' in der Hütte und P_1 bei Dubbel. Die für diese Werte nach Bach bzw. Gehrckens gegebenen Tabellen sind dieselben wie bei Hütte und Dubbel.

66. Da Aluminium schlechter leitet als Cu, und zwar im Verhältnis $\frac{1}{0,030}$ zu $\frac{1}{0,0175}$ oder im Verhältnis 0,0175 zu 0,030, so muß, damit beide Leitungen bei gleicher Länge denselben Widerstand haben, der Querschnitt der Aluminiumleitung und damit

auch ihr Gesamtvolumen $\frac{0,030}{0,0175}$ mal so groß sein, als der Querschnitt bzw. das Volumen der Kupferleitung:

$$V_{\mathrm{Al}} = V_{\mathrm{Cu}} \cdot \frac{30}{17,5}.$$

Ist V das Volumen der Leitung in Liter und G ihr Gewicht in kg, so folgt aus dem Vorstehenden:

$$G_{\mathrm{Cu}} = V_{\mathrm{Cu}} \cdot 8,9; \qquad G_{\mathrm{Al}} = V_{\mathrm{Al}} \cdot 2,6 = V_{\mathrm{Cu}} \frac{30 \cdot 2,6}{17,5} = 4,5\, V_{\mathrm{Cu}};$$

und daraus: $$G_{\mathrm{Al}} = 4,5 \cdot \frac{G_{\mathrm{Cu}}}{8,9} \approx 0,5\, G_{\mathrm{Cu}}.$$

Bezeichnet weiter p den Preis für 1 kg in Mark und P den Preis des ganzen Leitungsmetalls in Mark (ohne Masten, Isolatoren, Montage usw.), so ist:

$$P_{\mathrm{Cu}} = \quad \ldots\ldots \quad p_{\mathrm{Cu}} \cdot G_{\mathrm{Cu}};$$
$$P_{\mathrm{Al}} = p_{\mathrm{Al}} \cdot G_{\mathrm{Al}} \approx 0,5\, p_{\mathrm{Al}} \cdot G_{\mathrm{Cu}}.$$

Diese beiden Gesamtpreise P_{Cu} und P_{Al} sollen gleich groß sein. Dann muß gelten: $p_{\mathrm{Cu}} = 0,5\, p_{\mathrm{Al}}$; oder in Worten: Aluminium darf pro kg höchstens doppelt so teuer sein wie Kupfer, wenn es in der hier betrachteten Hinsicht mit ihm konkurrieren soll.

67. 1. Prinzip und Handhabung der Messung. Während des Bremsversuches befindet sich der Bremszaum in Ruhe, woraus folgt, daß die auf ihn rechtsdrehend (↻) wirkenden Drehmomente zusammen dann gleich den links (↺) drehenden sind, wobei alle Momente auf die Bremsscheiben-Achse als Dreh-Achse bezogen sein sollen[1]). Rechtsdrehend wirkt das infolge der unsymmetrischen Anordnung des Bremsbalkens und seines Gewichtes bestehende „Eigen-Drehmoment" des Zaumes ($\mathfrak{M}_{\mathrm{Eigen}}$) und das vom Motor auf die Bremsscheibe mittels der Bremsbacken übertragene „treibende Moment" ($\mathfrak{M}_{\mathrm{treibend}}$). Linksdrehend wirkt der Druck der Dezimalwage aufwärts auf die Stütze D und damit auf den Bremsbalken. Dieser Druck am Hebelarm L ergibt das linksdrehende „bremsende Moment" ($\mathfrak{M}_{\mathrm{bremsend}}$). Da weitere Drehmomente auf den Zaum nicht wirken, besteht gemäß dem Vorstehenden die Beziehung:

$$\mathfrak{M}_{\mathrm{treibend}} = \mathfrak{M}_{\mathrm{bremsend}} - \mathfrak{M}_{\mathrm{Eigen}},$$

[1]) Vgl. Bernoulli S. 80, 81. — Hütte 1923, I., S. 257, 185. — Dubbel I., S. 291, 293. — Freytag S. 56/57.

wobei die drei Momente ihrem absoluten Werte nach ohne Rücksicht auf ihr Vorzeichen einzusetzen sind. Danach kann also $\mathfrak{M}_{\text{treibend}}$ berechnet werden, wenn $\mathfrak{M}_{\text{bremsend}}$ und $\mathfrak{M}_{\text{Eigen}}$ bekannt sind.

$\mathfrak{M}_{\text{Eigen}}$ ergibt sich aus dem früheren Versuch mit Schneide und Federwage. $\mathfrak{M}_{\text{bremsend}}$ ist gleich dem senkrechten Druck von G kg der Dezimalwage auf die Stütze D, multipliziert mit dem Hebelarm L. $\mathfrak{M}_{\text{bremsend}}$ ist danach leicht zu berechnen, wenn L und G gemessen sind. G ist indessen nur bestimmbar, wenn die Wage einspielt; in diesem Falle ist G das 10fache der auf der Gewichtsschale stehenden Gewichte von g kg. Eine Messung ist daher überhaupt nur möglich, wenn die Schrauben A und B durch Probieren und dauerndes Nachregulieren so angezogen werden, daß die Schneiden der Wage während der Messung dauernd einspielen.

Aus $\mathfrak{M}_{\text{treibend}}$ und der minutlichen Drehzahl n der Bremsscheibe ergibt sich die „Bremsleistung" des Motors, d. h. diejenige Leistung, die der Motor während der Messung wirklich hergibt. Bei einspielender Wage und feststehenden Daten des Zaumes ($\mathfrak{M}_{\text{Eigen}}$ und L) sowie gegebenem n (für dessen Konstanz der Regulator des Dieselmotors sorgt) ist hiernach die gebremste Leistung nur von g abhängig. Jedem Wert von g entspricht eine bestimmte Bremsleistung (bei einspielender Wage!).

Der Bremsversuch mit dem in der Aufgabe vorgeschriebenen Zweck spielt sich danach so ab, daß bei lose anliegenden Bremsbacken die Gewichtsschale der Wage mit dem sogleich zu berechnenden Gewicht g belastet wird und daß dann bei laufendem Motor die Muttern A und B so lange angezogen werden, bis die Wage einspielt. Dann ist lediglich festzustellen, ob der Motor diese Anspannung für längere Zeit verträgt, ohne daß seine Drehzahl abfällt oder sonstige Mängel auftreten. Tut er das, so leistet er die versprochenen 40 PS.

2. Berechnung des der Bremsleistung von 40 PS entsprechenden Gewichtes g_{40} (in kg). Zunächst ist aus dem früheren Versuch der Wert von $\mathfrak{M}_{\text{Eigen}}$ zu ermitteln. Bei jenem Versuche gemäß Abbildung 58 wirkten auf den Bremszaum nur drei Kräfte: a) der Fadenzug bei E, senkrecht aufwärts, mit 12,5 kg; b) das (unbekannte) Eigengewicht des Bremszaumes, senkrecht abwärts, im Schwerpunkt angreifend, dessen Lage

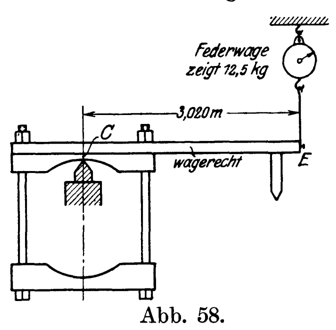


Abb. 58.

aber nicht bekannt zu sein braucht; c) der Druck der Schneide bei C auf den Zaum. Von diesen drei Kräften haben nur die beiden ersten ein Drehmoment in bezug auf die Schneide als Drehachse. Da der Zaum in Ruhe ist, sind diese beiden Momente gleich. Das erste ist $12{,}5 \cdot 3{,}020 = 37{,}75$ mkg; das zweite ist $\mathfrak{M}_{\text{Eigen}}$, woraus folgt: $\mathfrak{M}_{\text{Eigen}} = \mathbf{37{,}75}$ **mkg.**

Beim eigentlichen Bremsversuch ist daher das treibende (vom Motor ausgeübte) Drehmoment:

$$\mathfrak{M}_{\text{treibend}} = GL - 37{,}75 = 10 \cdot g \cdot 2{,}500 - 37{,}75 \text{ mkg}.$$

Die Leistung bei einer drehenden Bewegung ist Drehmoment mal Winkelgeschwindigkeit, oder in Buchstaben:

N' (in mkg/sek) $= \mathfrak{M}$ (in mkg) $\cdot\, \omega$ (in Einheitswinkeln/sek) (Hütte 1923, I., S. 186, 187. — Dubbel I., S. 256, 257).

ω ergibt sich aus der minutlichen Drehzahl n durch die Beziehung $\frac{2\pi n}{60} = \omega$[1]. Die Bremsleistung N in PS wird daher:

$$N = \frac{\mathfrak{M}_{\text{treibend}} \cdot \omega}{75} = \frac{(25 \cdot g - 37{,}75) \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{75 \cdot 60} \text{ PS}$$

$$= \frac{(25\, g - 37{,}75) \cdot \pi \cdot 180}{2250} = (6{,}28\, g - 9{,}49) \text{ PS}.$$

Wenn nun $N = 40$ PS sein soll, so folgt hieraus für den zugehörigen Wert von g (in kg), der g_{40} heißen sollte:

$$40 = 6{,}28 \cdot g_{40} - 9{,}49; \quad g_{40} = \frac{40 + 9{,}49}{6{,}28} = \frac{49{,}49}{6{,}28} = \mathbf{7{,}879 \text{ kg.}}$$

Bemerkung: Man beachte, daß der in der Aufgabe angegebene Wert von r (Bremsscheiben-Durchmesser) nicht erforderlich ist und ganz unnötigerweise gemessen wurde. Ebensowenig braucht man den Reibungskoeffizienten zwischen Bremsscheibe und Bremsklötzen zu wissen.

68. 1. Zellenzahl.

Aus der Glühlampenspannung von 220 Volt und dem Leitungsverlust von 10% ergibt sich die höchste erforderliche Entladespannung der Batterie zu etwa $220 \cdot 1{,}1 = 242$ Volt (oder, je nachdem, wie die 10% gemeint sind, $\frac{220}{0{,}9} \approx 245$ Volt). Diese Spannung muß die Batterie auch dann hergeben können, wenn sie nahezu entladen ist, jedes Element also nur noch etwa 1,83 Volt hat. Erforderlich sind daher in diesem Falle $\frac{242}{1{,}83} =$ **132 Zellen.**

---

[1]) Vgl. Bernoulli S. 81. — Hütte 1923, I., S. 228. — Dubbel I., S. 234. — Freytag S. 49.

Diese Anzahl ist somit zu beschaffen, obwohl die volle Zahl nur selten und nur kurzzeitig benutzt wird.

2. Polschuhe.

Die geringste Zahl der benutzten Zellen ergibt sich dann, wenn die Gesamtspannung ein Minimum und die Spannung der einzelnen Zelle ein Maximum wird. Ersteres trifft zu, wenn nur wenige Lampen brennen; der Spannungsabfall im Netz ist dann verschwindend gering und die Spannung am Entladehebel des Zellenschalters soll daher dann nur 220 Volt betragen. Das Maximum der Einzelzellenspannung tritt gegen Ende einer starken Ladung der Batterie ein, und zwar hat dann jede Zelle etwa 2,75 Volt. Wenn beide Umstände gleichzeitig eintreten, womit gerechnet werden muß, so werden demnach nur $\frac{220}{2,75} = 80$ Zellen benutzt.

Die letzten $132 - 80 = 52$ Zellen müssen daher (mittels des Zellenschalters) der Reihe nach ab- oder zugeschaltet werden können. Zu dem Zweck muß jede dieser 52 Schaltzellen mit dem Zellenschalter verbunden werden und deswegen einen Polschuh besitzen. Begnügt man sich jedoch mit der Ab- und Zuschaltung von je 2 Zellen auf einmal (wobei die Spannung jedesmal um etwa 4 Volt oder etwa 2 % springt, was noch erträglich ist), so sind nur 26 Schaltzellen-Polschuhe erforderlich. Außer diesen Polschuhen sind Polschuhe am Ende einer jeden Zellenreihe nötig, deren Zahl also von der Art der Aufstellung und daher oft von der Form des verfügbaren Raumes abhängt.

3. Kapazität.

Ähnlich wie bei Aufgabe Nr. 61 ergibt sich hier die beim gleichzeitigen Betriebe aller Lampen und Motoren erforderliche Leistung, gemessen am Verbrauchsort, etwa wie folgt:

600 Glühlampen zu je 50 NK zu je 1,1 Watt =	33000 Watt
16 Bogenlampen. Davon sind bei der Netzspannung von 220 Volt zweckmäßig je 4 in Reihe zu schalten, so daß $^{16}/_4 = 4$ Reihen entstehen, die je 6 Amp aufnehmen und einschließlich ihrer Vorschaltwiderstände je $220 \cdot 6 = 1320$ Watt verbrauchen. Die 4 Reihen zusammen erfordern also $4 \cdot 1320 =$	5280 Watt
2 Motoren von zusammen 5 PS brauchen bei einem zu 90 % angenommenen Wirkungsgrad zusammen: $\frac{5 \cdot 736}{0,9} \approx$	4090 Watt
Der Gesamtverbrauch beträgt somit	42370 Watt

bei einer Spannung von 220 Volt, woraus sich eine Stromstärke von $\frac{42\,370}{220} \approx 193$ Amp ergibt. Diese Stromstärke soll die Batterie 5 Stunden lang abgeben können. Ihre Kapazität muß also $5 \cdot 193 =$ **965 Amperestunden** sein. (Da die Kapazität nicht ganz unabhängig von der Entladezeit ist, so empfiehlt es sich, in der Bestellung die Entladedauer mit anzugeben.)

4. Zubehör.

Bei der Bestellung muß angegeben werden, ob die Gestelle und Bedienungsbühnen sowie die Säure (Füll- und Lötsäure) mitgeliefert werden sollen (was üblich ist).

5. Telegramm.

Eilsendet Akkumulatorenbatterie, 132 Zellen, 965 Amperestunden (fünfstündig), normale Aufstellung, 26 Schaltzellenpolschuhe, normales Zubehör, auch Holzgestelle, Laufbühnen und Füll- und Lötsäure.

69. Auf die Welle wirken in der Scheiben-Mittelebene:

1. horizontal, und zwar in gleicher Richtung, die beiden Riemenzüge von 520 kg bzw. 260 kg, zusammen 780 kg;
2. vertikal abwärts das Gewicht der Scheibe mit 350 kg.

Die Resultante R aus diesen Kräften, die biegend auf die Welle wirkt, beträgt:

$$R = \sqrt{780^2 + 350^2} = \sqrt{608\,400 + 122\,500} = \sqrt{730\,900} = 855 \text{ kg}.$$

Da die Berechnung nur auf Biegung (nicht auf Verdrehung) erfolgen soll, kommen die Beziehungen in Betracht, die in der Literatur unter dem Titel „Achsen“ angeführt zu werden pflegen. Die durch die Kraft $R = 855$ kg verursachte Durchbiegung erfolgt natürlich in der Richtung von R, die aus den beiden Einzelkräften (350 kg und 780 kg) leicht zu bestimmen wäre, aber hier nicht interessiert. Die Berechnung auf Biegungsanstrengung des Materials erfolgt daher ebenso, als ob an der Welle im Scheiben-Mittelpunkt nur eine einzige senkrecht nach abwärts gerichtete Kraft von 855 kg angriffe.

Bezeichnet x den Abstand der beiden Lager voneinander in cm, d den Wellendurchmesser in cm (hier $d = 9$), k_b die zulässige höchste Biegungsbeanspruchung des Wellenmaterials in kg/cm², die hier mit 600 kg/cm² vorgeschrieben ist, so ist der in jedem der beiden benachbarten Lager durch R hervorgerufene Auflagedruck $A = \frac{855}{2}$ kg, und das durch A im Scheibenmittelpunkt

verursachte Biegungsmoment der Welle:

$$\mathfrak{M}_{\text{Bieg}\cdot\text{max}} = \frac{855}{2} \cdot \frac{x}{2} \text{ kgcm.}$$

Bezeichnet W das Widerstandsmoment der Welle in cm³, das bei kreisförmigen Querschnitten allgemein gleich ungefähr $\frac{d^3}{10}$, hier also $9^3:10 = 72{,}9$ cm³ ist, so ist demnach

$$\mathfrak{M} = \frac{855}{2} \cdot \frac{x}{2} = k_b \cdot W = 600 \cdot 72{,}9\,,$$

woraus dann folgt:

$$x = \frac{600 \cdot 72{,}9 \cdot 2 \cdot 2}{855} = 204 \text{ cm.}$$

Der Abstand der beiden Nachbarlager voneinander darf daher höchstens **2,04 m** betragen.

70. Zu 1. Da die mittlere spezifische Wärme der Rauchgase (bei konstantem Druck) etwa $0{,}24 \frac{\text{WE}}{\text{kg} \cdot {}^0\text{C}}$ ist (Bernoulli S. 369, 358. — Hütte 1923, I., S. 482. — Dubbel I., S. 385, 386; II., S. 78. — Freytag S. 468), so können die stündlich verfügbaren 7600 kg Rauchgase bei der Abkühlung von 320° C auf 180° C etwa $7600\,(320 - 180) \cdot 0{,}24 = 7600 \cdot 140 \cdot 0{,}24 = 255000$ WE an das Wasser abgeben.

Da das Wasser von 20° C auf 130° C erwärmt werden soll, so nimmt jedes kg Wasser im Economiser $130 - 20 = 110$ WE auf.

Mit den stündlich verfügbaren 255000 WE können daher theoretisch $\frac{255000 \text{ WE/Std}}{110 \text{ WE/kg}} = \mathbf{2320\ kg/Std}$ auf die angegebene Temperatur erwärmt werden. (In Wirklichkeit wird die Menge etwas geringer sein, weil ein Teil der Wärme durch Leitung und Strahlung nach außen ungenutzt verlorengeht.)

Zu 2. Die zum Durchlassen von Q WE pro Stunde erforderliche Oberfläche F in qm beträgt bei einem nach dem Gegenstromprinzip eingerichteten Apparat gemäß Bernoulli S. 375:

$$F = \frac{Q}{k} \cdot \frac{2{,}303}{(T - T_1) - (t_1 - t)} \log_{10} \frac{T - t_1}{T_1 - t} \text{ qm.}$$

Darin ist k eine Erfahrungsziffer, die vom Material der Wand und von der Reinheit und sonstigen Beschaffenheit ihrer Oberfläche abhängt, ferner von der Art und Bewegung der beiden Stoffe, zwischen denen die Wärme übergehen soll (hier Rauchgase und Wasser) (vgl. Bernoulli S. 373, 409. — Hütte 1923, I.,

S. 466, 458—465. — Dubbel I., S. 380) und die hier gemäß der Aufgabe zu 15 anzunehmen ist.

2,303 ist der Briggsche Logarithmus von e.

T ist die Anfangs- und T_1 die Endtemperatur des wärmeabgebenden Stoffes (Rauchgase); t ist die Anfangs- und t_1 die Endtemperatur des wärmeaufnehmenden Stoffes (Wasser). Alle Buchstaben T, T_1, t, t_1 bezeichnen die betreffenden Temperaturen in ^{0}C; T bedeutet hier nicht etwa die absolute Temperatur. (Vgl. die Abbildung 59, in der zu den vier Temperaturbezeichnungen auch die Zahlenwerte beigeschrieben sind. In den entsprechenden Formeln der Hütte 1923, I., S. 455, 468 und bei Dubbel I., S. 382 sind zum Teil andere Bezeichnungen gewählt, die an Hand einer entsprechenden Skizze leicht mit den hier benützten in Übereinstimmung gebracht werden können. Dann ist leicht zu erkennen, daß die Formeln sich mit der vorstehenden decken, wenn man noch beachtet, daß $2{,}303 \log_{10} a = ln\, a$ ist.

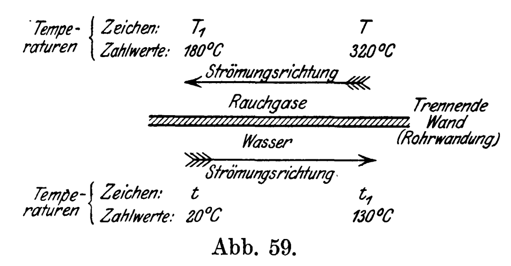


Abb. 59.

Im vorliegenden Falle ergibt die Formel durch Einsetzen der gegebenen Zahlenwerte und des unter 1) berechneten Wertes von Q:

$$F = \frac{255000}{15} \cdot \frac{2{,}303}{(320 - 180) - (130 - 20)} \log_{10} \frac{320 - 130}{180 - 20}\ \text{qm}$$

$$= \frac{255000}{15} \cdot \frac{2{,}303}{140 - 110} \log_{10} \frac{190}{160}\ \text{qm}$$

$$= \frac{255000}{15} \cdot \frac{2{,}303}{30} \cdot (2{,}2788 - 2{,}2041)\ \text{qm}$$

$$= 17000 \cdot \frac{2{,}303}{30} \cdot 0{,}0747 = 97{,}5\ \text{qm}.$$

Es ist demnach eine Economiser-Oberfläche von rund **100 qm** erforderlich.

71. Zu 1. Der Motor wird bei Vollbelastung mit 2000 PS und bei einem auf 95 ${}^0/_0$ geschätzten Wirkungsgrad (Kosack S. 119, 102. — Bernoulli S. 550. — Hütte 1923, II., S. 992. — Dubbel II., S. 792, 807. — Freytag S. 1085) einen Leistungsverbrauch von etwa $\frac{2000 \cdot 0{,}736}{0{,}95}$

= 1550 kW haben. (Kosack S. 119, 17. — Bernoulli S. 540. — Hütte II., S. 992. — Dubbel II., S. 741.)

Bei Gleichstrom von 500 Volt ist für die Zuführung dieser Leistung ein Strom von $\frac{1\,550\,000 \text{ Watt}}{500 \text{ Volt}} = 3100$ Amp erforderlich. (Kosack S. 14. — Bernoulli S. 521. — Hütte 1923, II., S. 973. — Dubbel II., S. 754. — Freytag S. 1068). Für diese Stromstärke muß daher der Widerstand mindestens bemessen werden, damit die erste Bedingung erfüllt wird. Gemäß der dritten Bedingung soll 1^0 des Ausschlages entweder 1 Amp oder 2 Amp oder 5 Amp oder 10 Amp oder 20 Amp usw. bedeuten. Der volle Instrumenten-Ausschlag von 150^0 ergibt dann die folgenden Meßbereiche:

$1^0 =$	1	2	5	10	20	50	100	usw.	Amp.
Meßbereich:	150	300	750	1500	3000	7500	15000	usw.	Amp.

Andere Meßbereiche kommen nicht in Betracht.

Unter diesen Meßbereichen ist demnach das passende auszuwählen. Da es mindestens 3100 Amp sein muß und andrerseits wegen der zweiten Bedingung nicht größer sein darf als erforderlich, so ist das Meßbereich von 7500 Amp mit der Konstanten: $1^0 = 50$ Amp zu wählen.

Zu prüfen wäre noch nach Lage der besonderen Umstände, ob man den Widerstand so bestellen will, daß er 7500 Amp verträgt, oder nur für 3100 Amp. Letzteres würde für diese Messung ausreichen; für andere Messungen wäre es aber vielleicht wünschenswert, daß er 7500 Amp verträgt, da das Instrument zusammen mit dem Shunt ja auch bis 7500 Amp reicht. Natürlich wird er dadurch schwerer und teurer, weil er dann mehr Kühlfläche haben muß, um die größere Wärmemenge abzuführen, die bei 7500 Amp das $\frac{7500^2}{3100^2}$ fache oder rund das 6fache beträgt wie bei 3100 Amp (bei gleichem Ohmwert) (Kosack S. 18. — Bernoulli S. 521. — Hütte II., S. 973. — Dubbel II., S. 754. — Freytag S. 1068). Auch wäre zu prüfen, ob der Shunt den Strom (7500 bzw. 3100 Amp) dauernd vertragen muß oder nur für die kurze Zeit, in der die Ablesungen erfolgen (beispielsweise 5 Minuten). Im letzteren Falle wird er wieder leichter und billiger, weil er sich in den Pausen zwischen zwei Ablesungen abkühlen kann und daher weniger Kühlfläche braucht. Die Handhabung ist dann freilich unbequemer, weil nicht vergessen werden darf, ihn jedesmal sogleich nach der Ablesung wieder durch einen besonderen Schalter y zu überbrücken (vgl. die Abbildung 60).

Außer der Stromstärke, die für die erforderliche Kühlfläche und Kühlvorrichtung mit ausschlaggebend ist, muß dem Lieferanten als wichtigste Angabe natürlich der Ohmwert des Widerstandes angegeben werden. Dieser ergibt sich daraus, daß bei 7500 Amp das Instrument voll (d. h. um 150°) ausschlagen soll und daß dann an den Instrumentklemmen (und folglich auch an den Shuntklemmen) eine Spannung von 45 mV herrscht. Ist R der Widerstand des Shunts in Ω, so gilt hiernach:

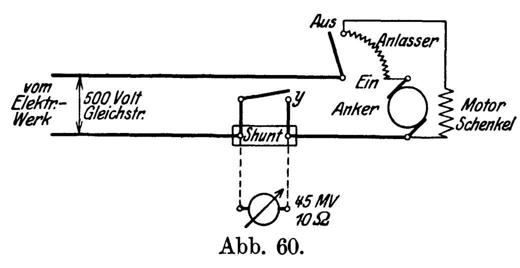


Abb. 60.

$$\frac{0{,}045 \text{ Volt}}{R \text{ Ohm}} = 7500 \text{ Amp}^{1)},$$

woraus folgt

$$R = \frac{0{,}045 \text{ Volt}}{7500 \text{ Amp}} = \frac{4{,}5 \cdot 10^{-2}}{7{,}5 \cdot 10^{3}} = 0{,}6 \cdot 10^{-5} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Ohm}.$$

Endlich muß bei der Bestellung angegeben werden, mit welcher Genauigkeit dieser Ohmwert zutreffen soll, da mit wachsender Anforderung an die Genauigkeit auch der Preis (wegen der hohen Kosten einer sehr genauen Eichung und Abgleichung) stark steigt. Ohne triftigen Grund wird man daher statt „technischer Genauigkeit", die einen Fehler von etwa $\pm \frac{1}{2}\%$ zuläßt, nicht Präzisionsausführung verlangen, deren Abweichung vom richtigen Wert oft viel kleiner als $1\,‰$ ist.

Danach kann das Bestelltelegramm etwa lauten: „Eilsendet Shunt für Strommessung, ausreichend für (7500) [3100] Ampere (dauernd) [für 10 Minuten], Widerstandswert sechs Milliontel Ohm (mit höchster Genauigkeit) [mit technischer Genauigkeit]."

Die eckig eingeklammerten Alternativen an Stelle der rund eingeklammerten Angaben stellen andere Fassungen des Tele-

[1]) Hierbei ist freilich eine kleine Ungenauigkeit untergelaufen, da der Strom von 7500 Amp nicht ganz durch den Shunt fließt, sondern ein Teil davon durch das Instrument. Dieser Teil beträgt aber bei vollem Ausschlag nur $\frac{0{,}045 \text{ Volt}}{10 \text{ Ohm}} = \frac{4{,}5}{1000}$ Amp oder 4,5 mA. Die Ungenauigkeit ist daher nur 4,5 mA auf 7500 Amp oder 6 mA auf 10000 Amp oder 0,6 auf die Million, ein Fehler, der auch für die genauesten Messungen in der Praxis vernachlässigt werden kann.

gramms dar für den Fall, daß nicht die höchsten Ansprüche bezüglich Meßbereich, Bequemlichkeit und Genauigkeit gestellt werden.

Zu 2. Gemäß den Ausführungen unter 1. bedeutet je 1 Skalenteil des Zeigerausschlages eine Stromstärke von **50 Amp.**

Zu 3. Gemäß den Ausführungen unter 1. tritt bei voller Belastung des Motors eine Stromstärke von etwa 3100 Amp ein. Da ferner je 1^0 des Zeigerausschlages 50 Amp bedeutet, so wird der Ausschlag etwa $\frac{3100 \text{ Amp}}{50 \text{ Amp}/^0} \approx$ **62⁰** werden.

72. Die Geschwindigkeit des Schwimmers betrug $\frac{52 \text{ Meter}}{75 \text{ Sekunden}}$ $= 0{,}693$ m/sek. Die Wassergeschwindigkeit v ist daher $0{,}693 \cdot 0{,}85 = 0{,}59$ m/sek. Die Querschnittfläche des Wasserstromes ergibt sich aus der Profilzeichnung zu $F = \frac{(1{,}2 + 1{,}65) \cdot 0{,}6}{2} = 0{,}855$ qm. Die Wasserstromstärke ist daher $F \cdot v = 0{,}855 \cdot 0{,}59 = 0{,}504$ cbm/sek. Aus dieser sekundlichen Wassermenge der Pumpenförderung, aus der Hubhöhe von 15 m, und aus dem Wirkungsgrad von 70 % ergibt sich die erforderliche Antriebsleistung der Pumpe zu:

$$\frac{0{,}504 \cdot 1000 \cdot 15}{75 \cdot 0{,}7} = \mathbf{144\ PS.}$$

73. Die Meßdauer betrug 2 Min 21,4 Sek oder 141,4 Sek.

Die Anzahl der in der Meßzeit vom Motor vollendeten Umläufe läßt sich allein aus den Angaben des Umlaufzählers nicht mit voller Sicherheit ermitteln. Vielmehr müßte eigentlich noch beobachtet und angegeben sein: erstens, ob der Zähler vorwärts (d. h. im Sinne wachsender Ziffern) oder rückwärts lief (beides ist zulässig), und zweitens, ob und evtl. wie oft er die Stellung 00000 passierte. Lief er rückwärts und passierte 00000 nicht, so hat der Motor 25579 − 23437 = **2142** Umdrehungen während der 141,4 Sek gemacht. Lief er rückwärts und passierte 00000 einmal, so war die Zahl der Umdrehungen **12142** usw. Lief er vorwärts, so muß er mindestens einmal die Stellung 00000 passiert haben (weil die Endablesung kleiner war als die Anfangsablesung). Traf dies zu, so ist die Zahl der Umdrehungen 123437 − 25579 = **97858.** Lief er vorwärts und passierte 00000 zweimal, so war die Zahl **197858** usw. Im vorliegenden Falle läßt sich, auch ohne daß bei der Messung auf Drehrichtung und Nullpassagen geachtet wurde, mit Sicherheit sagen, daß nur die

Zahl 2142 in Betracht kommt. Denn schon die zweitniedrigste Zahl von 12142 Umdrehungen in rund $2^1/_2$ Minuten würde eine minutliche Drehzahl von rund 5000 ergeben, die nicht zutreffen kann. In manchen Fällen (besonders wenn der Zähler etwa 50000 oder 150000 usw. Umdrehungen gemacht hat, oder wenn die Zahl der Umdrehungen sehr groß ist) sind jedoch die Angaben über den Drehsinn und die „Nullübergänge“ ganz unentbehrlich.

Hier ergibt sich die minutliche Drehzahl zu $\frac{2142 \cdot 60}{141,4}$ $= \mathbf{908,9}$ **Umdr/min.** (Dieser Wert muß sehr genau berechnet werden, wie auch die Messung der Umdrehungen und der Zeit sehr genau erfolgen muß, weil schon geringe Abweichungen das Ergebnis sehr stark beeinflussen.)

Bei der Frequenz 50 (volle Perioden pro Sekunde, $f = 50$) macht ein zweipoliger ($p = 1$) Synchronmotor (oder schlüpfungsfrei laufender Asynchronmotor) in jeder Sekunde 50 Umdrehungen, in der Minute also $60 \cdot 50 = 3000$ ($n = 3000$). Ein Synchronmotor mit p Polparen (oder $2\,p$ Polen) hat dann eine Drehzahl $n = \frac{3000}{p} = \frac{60\,f}{p}$. (Kosack S. 132, 157, 166. — Bernoulli S. 556, 561. — Hütte 1923, II., S. 1030, 1051. — Dubbel II., S. 799, 807, 808, 811. — Freytag S. 1101, 1108.)

Der untersuchte sechspolige Motor ($p = 3$) würde daher synchron oder schlüpfungslos laufen mit $n = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3}$ $= 1000$ Umdr/min. In Wirklichkeit lief er mit $n = 908,9$. Er schlüpfte also pro Minute um 91,1 Umdrehungen. Seine Schlüpfung betrug somit, ausgedrückt in Prozenten seiner synchronen Drehzahl, $\frac{91,9 \cdot 100}{1000}\,\% = \mathbf{9,19\,\%}$.

(Das ist eine ziemlich große Schlüpfung. Zuweilen liegt sie unter 1 %; dann stellt diese Methode sehr hohe Anforderung an die Genauigkeit der Messung, so daß man dann besser andere Methoden anwendet.)

74. Jeder Mast hat alle diejenigen Kräfte aufzunehmen, mit denen der Wind erstens auf die Mastfläche selbst und zweitens auf die Flächen der drei Leitungsseile in den beiderseitigen Feldern bis zur Mitte der Entfernung von den nächsten Masten drückt.

Der Mast selbst hat die Form eines stumpfen Kegels, dessen oberer Durchmesser 20 cm beträgt (vgl. Abb. 61, die nicht maßstäblich, sondern absichtlich übertrieben gezeichnet ist). Der Durchmesser in Höhe des Erdbodens ergibt sich daraus, daß er

9 m vom oberen Ende entfernt ist, zu

$$20 + \frac{(30 - 20) \cdot 9}{10,5} = 20 + \frac{90}{10,5} = 20 + 8,6 = 28,6 \text{ cm}.$$

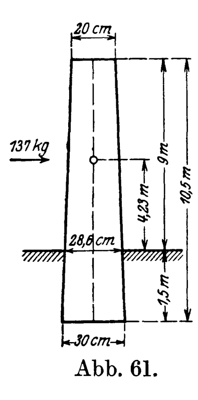


Abb. 61.

Die Querschnittfläche des Mastes, soweit er über dem Erdboden liegt, ist daher ein schlankes Trapez von 9 m Höhe, 20 cm oberer Breite und 28,6 cm unterer Breite. Dies Trapez hat eine Fläche von $\frac{9 \cdot (0,2 + 0,286)}{2} = 2,19$ qm. Bei einem Wind, der auf 1 qm einer ebenen, senkrecht zur Windrichtung liegenden Fläche mit einer Kraft von 125 kg drückt, erleidet daher der Mast selbst unmittelbar (mit Rücksicht darauf, daß zylindrische Flächen nur mit der Hälfte ihrer Projektion einzusetzen sind) einen Druck von $125 \cdot 2,19 \cdot 0,5 = 137$ kg.

Bei zylindrischer Form des Mastes würde diese Kraft in halber Höhe über dem Erdboden, das ist in der Höhe von 4,5 m angreifen. Wegen der nach oben verjüngten Form liegt der Druckmittelpunkt etwas niedriger, nämlich im Schwerpunkt des Trapezes. Die Entfernung des Trapezschwerpunktes von der Trapezoberkante ergibt sich an Hand der in den Handbüchern[1]) angegebenen Formeln zu

$$\frac{9\,(20 + 2 \cdot 28,6)}{3 \cdot (20 + 28,6)} = 3 \cdot \frac{77,2}{48,6} = 4,77 \text{ m},$$

so daß diese Windkraft in einer Höhe von $9,00 - 4,77 = 4,23$ m über dem Erdboden angreift.

Der Winddruck auf die Seile wird naturgemäß dann ein Maximum, wenn der Wind senkrecht zur Trace der Leitung weht, und mit diesem Fall ist daher zu rechnen. Auf jeder Seite des Mastes kommt für den auf den Mast entfallenden Winddruck (bei einer Mastentfernung von 50 m) eine Tracenlänge von $\frac{50}{2} = 25$ m in Betracht (vgl. die ebenfalls nicht maßstäbliche Abb. 62), so daß jeder Mast den Wind-

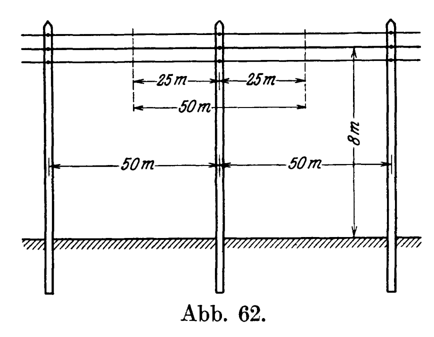


Abb. 62.

[1]) Bernoulli S. 47. — Hütte 1923, I., S. 200. — Dubbel I., S. 298.

druck aufzunehmen hat, der auf drei Seile von je 50 m Länge oder im ganzen auf 150 m Seil entfällt. Jedes Seil hat einen Durchmesser von 11 mm oder 0,011 m.

Die gesamte für einen Mast in Betracht kommende Seil-Profilfläche ist daher $150 \cdot 0{,}011$ qm $= 1{,}65$ qm und der darauf wirkende Winddruck daher $0{,}5 \cdot 1{,}65 \cdot 125 =$ **103 kg.**

Von dieser Kraft greift je ein Drittel am oberen, mittleren und unteren Isolator an, so daß bezüglich der Biegungsbeanspruchung des Mastes diese Gesamtkraft von 103 kg als am mittleren Isolator, das ist in einer Höhe von 8 m über Terrain angreifend angenommen werden kann.

Die Biegungsbeanspruchung des Mastes, der als im Erdboden fest eingespannt anzusehen ist, hat ihren größten Wert in der Höhenlage der Erdoberfläche.

Für diesen Mastquerschnitt beträgt das gesamte Biegungsmoment gemäß den vorhin gefundenen Werten für die beiden Windkräfte und ihre Höhenlagen:

$$\mathfrak{M}_{b\,\max} = 137 \cdot 4{,}23 + 103 \cdot 8 = 580 + 824$$
$$= 1404 \text{ mkg} = 140\,400 \text{ cmkg}.$$

Gemäß der Beziehung $\mathfrak{M}_b = \sigma_{\max} W$ (wobei $\mathfrak{M}_b$ das Biegungsmoment in cmkg (!) bedeutet, $\sigma_{\max}$ die Randspannung in dem betrachteten Querschnitt in kg/cm², W das Widerstandsmoment der Querschnittsfläche in cm³) und der für vollen kreisförmigen Querschnitt geltenden Beziehung $W \approx \frac{d^3}{10}$ (wobei d der Kreisdurchmesser in cm ist) ergibt sich daraus in diesem Falle (mit $d = 28{,}6$ cm):

$$\mathfrak{M}_b = 140\,400 = \sigma_{\max} \cdot \frac{28{,}6^3}{10}$$

und daraus
$$\sigma_{\max} = \frac{140\,400 \cdot 10}{23394} = \mathbf{60\ kg/cm^2.}$$

Da eine Höchstspannung von 80 kg/cm² zulässig wäre, vertragen demnach die Masten den Winddruck.

75. Bezeichnet P die nutzbar (d. h. als Differenz der Züge im straffen und im schlaffen Trum) auf den Umfang der Transmissions-Seilscheibe übertragene Kraft in kg, N die übertragene Leistung in PS, v die Seilgeschwindigkeit in m/sek, so ist $N = \frac{Pv}{75}$, folglich $P = \frac{75\,N}{v}$, oder hier (bei $v = 15$ m/sek)

$$P = \frac{75 \cdot 300}{15} = 1500 \text{ kg}.$$

Da jedes Seil einen Querschnitt von $4{,}5^2 = 20{,}25\,\text{cm}^2$ hat und jedes cm^2 des Seilquerschnittes eine nutzbare Umfangskraft von 7 kg übertragen soll, so trägt jedes Seil mit $20{,}25 \cdot 7$ kg $= 142$ kg zur gesamten Umfangskraft bei. Erforderlich sind daher ohne Rücksicht auf Reserve $\frac{1500\,\text{kg}}{142\,\text{kg}} = 10{,}6$ oder, aufgerundet, 11 Seile und mit der vorgeschriebenen Reserve folglich $11 + 3 = $ **14 Seile.** Jedes Seil läuft in einer eigenen Rille, so daß die Seilscheiben je 14 Rillen erhalten müssen.

Die beiden Scheibendurchmesser D_1 (Dampfmaschine) und D_2 (Transmission), beide in Meter, ergeben sich aus der Beziehung $v = \frac{D_1 \pi n_1}{60} = \frac{D_2 \pi n_2}{60}$, da v und n_1 sowie n_2 gegeben sind. So folgt:

$$\boldsymbol{D_1} = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot n_1} = \frac{15 \cdot 60}{3{,}14 \cdot 120} = \mathbf{2{,}39\ m};$$

$$D_2 = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot n_2} = \frac{15 \cdot 60}{3{,}14 \cdot 200} = 1{,}43\,.$$

Hierbei ist indessen der Gleitverlust von $2\,^0/_0$ vernachlässigt. Damit trotz dieses Gleitens die Transmission die volle verlangte Drehzahl $n = 200$ erhält, muß ihre Scheibe um $2\,^0/_0$ kleiner (!), also mit einem Durchmesser von

$$\boldsymbol{D_2} = 1{,}43 - 0{,}02 \cdot 1{,}43 = 1{,}43 - 0{,}03 = \mathbf{1{,}40\ m}$$

ausgeführt werden (oder die große Scheibe mit $1{,}02 \cdot 2{,}39 = 2{,}44\,\text{m}\,\varnothing$).

Die Nachprüfung darauf, ob die Seile nicht übermäßig eng gebogen werden, ergibt, daß der kleinste Scheibendurchmesser mit 140 cm das $\frac{140\,\text{cm}}{4{,}5\,\text{cm}} \approx 31$fache der Seilstärke beträgt, während das 30fache in dieser Hinsicht genügen würde. (Hätte sich eine kleinere Zahl als 30 ergeben, so müßten beide Scheiben größer gewählt werden; v wäre dann größer als 15 m/sek geworden.)

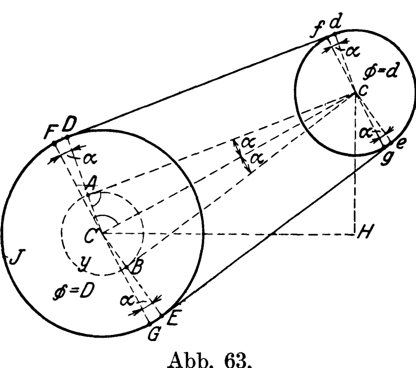


Abb. 63.

Die Länge L eines Seiles bei der Annahme, daß die nicht auf den Scheiben liegenden Seilstücke geradlinig verlaufen (in Wahrheit sind es sehr flache Kettenlinien), ergibt sich an Hand der nicht maßstäblichen Abbildung 63, in der die ausgezogenen Kreise die

beiden Scheiben und die ausgezogenen Geraden die frei laufenden Riemenstücke darstellen, und die zu konstruieren ist wie folgt:

Kreis y um C, den Mittelpunkt des großen Rades, mit $D-d$ als Durchmesser; Tangenten $\overline{cA}$ und $\overline{cB}$ von c an diesen Kreis; $\overline{CAD}$ und $\overline{cd}$ bzw. $\overline{CBE}$ und $\overline{ce}$ sind Lote zu diesen Tangenten; dann sind D, d, E, e die Auflauf- bzw. Ablaufpunkte des Seiles. Gezogen sind noch $\overline{FCG}$ und $\overline{fcg} \perp \overline{Cc}$. Die $\sphericalangle\sphericalangle\, AcC$ und BcC heißen α. Ebenso groß sind $\sphericalangle\, FCD$, $\sphericalangle\, fcd$, $\sphericalangle\, GCE$, $\sphericalangle\, gce$. Die Winkel mögen in Gradmaß angegeben werden.

Aus der Konstruktion folgt:

$$\text{Bogen } FJG = \frac{D\pi}{2}; \quad \text{Bogen } DFJGE = D\pi\, \frac{180^0 + 2\,\alpha}{360^0};$$

$$\text{Bogen } die = d\pi\, \frac{180^0 - 2\,\alpha}{360^0}; \quad \overline{Dd} = \overline{cA} = \overline{Ee} = \overline{cB} = \overline{Cc} \cdot \cos\alpha\,.$$

Die gesamte Seillänge ist daher:

$$L = D\pi\, \frac{180^0 + 2\,\alpha}{360^0} + d\pi\, \frac{180^0 - 2\,\alpha}{360^0} + 2 \cdot \overline{Cc} \cdot \cos\alpha\,.$$

Ferner ist $\quad \overline{Cc} = \sqrt{\overline{CH}^2 + \overline{cH}^2}$

oder hier $\quad = \sqrt{7^2 + 5^2} = \sqrt{49 + 25} = \sqrt{74} = 8{,}602 \text{ m};$

$$\sin\alpha = \frac{\overline{CA}}{\overline{Cc}} = \frac{{}^1\!/_2\,(D-d)}{\overline{Cc}} = \frac{{}^1\!/_2\,(2{,}39 - 1{,}40)}{8{,}602} = \frac{{}^1\!/_2 \cdot 0{,}99}{8{,}602} = 0{,}0575\,;$$

$$\alpha = 3{,}30^0; \quad \cos\alpha = 0{,}9983\,.$$

Durch Einsetzen dieser Werte ergibt sich für die gesamte Seillänge:

$$L = 2{,}39 \cdot \pi \cdot \frac{180 + 6{,}60}{360} + 1{,}40 \cdot \pi \cdot \frac{180 - 6{,}60}{360} + 2 \cdot 8{,}602 \cdot 0{,}9983,$$

$$= 7{,}508 \cdot \frac{186{,}6}{360} + 4{,}398 \cdot \frac{173{,}4}{360} + 2 \cdot 8{,}602 \cdot 0{,}998,$$

$$= 3{,}89 \qquad + 2{,}22 \qquad + 17{,}17$$

$$L = 23{,}28 \text{ m}.$$

Der für Durchhang erforderliche Zuschlag ist verschwindend gering. Dagegen sind für die Spleißung 3 m zuzuschlagen. Zu bestellen ist daher eine Seillänge von $14 \cdot (23{,}28 + 3) = 14 \cdot 26{,}28 = 367{,}9 \approx$ **368 m.**

76. Wenn q den Querschnitt einer Schiene in qmm (!) bedeutet, so hat ein Meter der Schiene ein Volumen von $10\,(\text{dm}) \cdot \frac{q}{10000}\,(\text{dm}^2) = \frac{q}{1000}\,\text{dm}^3$. Da das spezifische Gewicht

7,75 kg/cbdm ist, wiegt das laufende Meter Schiene $7{,}75 \frac{q}{1000}$ kg. Da andererseits dies Gewicht zu 45 kg angegeben ist, so gilt:

$$7{,}75 \cdot \frac{q}{1000} = 45; \quad q = 45 \cdot \frac{1000}{7{,}75} = 5800 \text{ qmm (!)}.$$

Bei einem spezifischen Widerstand des Schienenmaterials von $0{,}13 \frac{\text{Ohm} \cdot \text{qmm}}{\text{m}}$ hat daher eine Schiene von 1200 m Länge (das ist die Entfernung des Wagens von der Zentrale) einen Widerstand von $\frac{0{,}13 \cdot 1200}{5800} = 0{,}02689\ \Omega$. Der Widerstand des ganzen, aus zwei parallel geschalteten Schienen bestehenden Gleises von 1,2 km Länge ist daher $\frac{0{,}02689}{2} = 0{,}01345\ \Omega$.

Der Widerstand der aus einem Kupferdraht von $8^2 \cdot 4/\pi \approx 50$ qmm Querschnitt bestehenden Hinleitung auf derselben Strecke von 1,2 km ist $\frac{1200}{57 \cdot 50} = 0{,}422\ \Omega$. Der Widerstand von Hin- und Rückleitung zusammen (Fahrdraht und Schienenrückleitung zusammen) zwischen Zentrale und Wagen beträgt daher $0{,}422 + 0{,}01345 = 0{,}435\ \Omega$.

Wird dieser Gesamtwiderstand der Leitungen R genannt, und bezeichnet i die bei der größten Leistung des Motors von 70 PS eintretende Stromstärke in Amp, so geht bei der Stromstärke i in der gesamten Leitung eine Spannung von $i \cdot R$ Volt verloren, so daß am Motor nur noch eine Spannung von $550 - i \cdot R$ Volt verbleibt. Aus dieser Spannung, dem gegebenen Wirkungsgrad des Motors (90 %), und der Nutzleistung des Motors (70 PS) ergibt sich die Beziehung:

$$\frac{i \cdot (550 - i \cdot R)\, 0{,}90}{736} = 70.$$

Daraus läßt sich i ermitteln wie folgt:

$$550\, i - i^2 R = \frac{70 \cdot 736}{0{,}90}; \quad 0{,}435 \cdot i^2 - 550\, i = -\frac{70 \cdot 736}{0{,}90};$$

$$i^2 - 1280\, i = -132000;$$

$$i = 640 \pm \sqrt{409600 - 132000} = 640 \pm \sqrt{277600} = 640 \pm 527;$$

$i_1 = 1167$ Amp.; $i_2 =$ **113 Amp.**

Von diesen beiden Lösungen sind theoretisch beide möglich; indessen würde der Strom von 1167 Amp einen außerordentlich großen

Verlust in der Leitung und daher einen außerordentlich schlechten Wirkungsgrad der Übertragung ergeben, auch die Leitung und den Motor übermäßig erhitzen. Praktisch in Betracht kommt daher nur der kleinere Wert von **113 Amp.** (Vgl. Aufgabe 106.)

Bei diesem Strom von 113 Amp entsteht in den Leitungen ein Spannungsabfall von $113 \cdot 0{,}435 = 49{,}2$ Volt. Die Spannung am Motor beträgt daher $550 - 49{,}2 =$ **500,8 Volt.**

Der prozentuale Leistungsverlust in Hin- und Rückleitung zusammen ist bei Gleichstrom ebenso groß wie der prozentuale Spannungsverlust. Er beträgt daher $\frac{49{,}2 \cdot 100}{550}\,\% = \mathbf{8{,}95\,\%}$.

77. Zu 1. Während der Bremsung befindet sich der Motoranker nebst Bremsscheibe im Zustand gleichförmiger Bewegung. Daraus folgt, daß alle auf ihn wirkenden Drehmomente zusammen gleich Null sein müssen, oder daß die Summe der rechts (↻) drehenden Momente gleich der Summe der links (↺) drehenden ist. Rechtsdrehend wirkt nun nur der Motor, linksdrehend nur der Unterschied der Spannung in den beiden am Scheibenumfang angreifenden Seilenden. Wenn man das Eigengewicht des Bremsseiles vernachlässigt, so ist die Spannung in dem senkrechten Seilstück zwischen Scheibe und Federwage F kg (hier 28 kg), die Spannung in dem senkrechten Seilstück zwischen Scheibe und Gewicht dagegen Q kg (hier 90 kg). Der Unterschied beträgt $Q - F = 90 - 28 = 62$ kg und wirkt in der Mittellinie des Seiles, also an einem Hebelarm, der um die halbe Seilstärke größer ist als der Bremsscheibenradius. Dieser Hebelarm beträgt hier $\frac{305}{2} + \frac{5}{2} = \frac{310}{2} = 155$ mm. Das linksdrehende (bremsende) Moment ist daher $\frac{155}{1000} \cdot 62$ mkg, und genau so groß ist gemäß dem Gesagten das rechtsdrehende (treibende) Moment des Motors.

Die Leistung einer rotierenden Maschine (in mkg/sek) ist gleich Drehmoment ($\mathfrak{M}$ in mkg) mal der Winkelgeschwindigkeit (ω in Einheitswinkeln pro Sekunde). Die Leistung in PS ist daher: $N = \frac{\mathfrak{M} \cdot \omega}{75}$ PS. Zu der minutlichen Drehzahl n steht ω in der Beziehung:

$$\frac{2\,\pi n}{60} = \omega\,.$$

Daraus ergibt sich hier: $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 790}{60} = 82{,}8$;

$$N = \frac{0{,}155 \cdot 62 \cdot 82{,}8}{75}\ \text{PS} = \mathbf{10{,}6\ PS}\ \text{(„Bremsleistung“)}.$$

(Kosack S. 210. — Bernoulli S. 94, 112, 105, 116, 131, 132. — Hütte 1923, II., S. 382; I., S. 228, 186. — Dubbel I., S. 234, 256. — Freytag S. 835.)

Zu 2. Der Motor leistet 10,6 PS oder 10,6·736 = 7802 Watt. Er verbraucht dagegen 42,2 Amp bei 221 Volt, also 42,2·221 = 9326 Watt. Der Wirkungsgrad η des Motors ist daher:

$$\eta = \frac{7802}{9326} \approx 0{,}84 \text{ oder } 84\,\%.$$

Kosack S. 17, 209. — Bernoulli S. 105, 112. — Hütte 1923, II., S. 1101. — Dubbel I., S. 256, 316.)

78. Aus dem gegebenen Tages-Strombedarf von 13600 kWStd, dem Verlust in den elektrischen Leitungen von 2 %, dem Wirkungsgrad der Dynamo und dem mechanischen Wirkungsgrad der Dampfmaschine ergibt sich die indizierte Tagesleistung der Dampfmaschine und daraus der tägliche Dampfverbrauch der Maschine. Hieraus und aus dem Verbrauch für Speisepumpen und Verluste findet man die tägliche Dampferzeugung der Kessel.

Aus Dampfdruck, Dampftemperatur und Temperatur des Speisewassers folgt die zur Erzeugung von je 1 kg Dampf erforderliche Wärmemenge. Aus dieser, dem Heizwert der Kohle und dem Wirkungsgrad der Kessel berechnet sich der Tages-Kohlenbedarf, und daraus folgen in Verbindung mit dem Kohlenpreis die Tages-Kohlenkosten.

Hiernach ergibt sich der folgende Rechnungsgang:

Gegeben sind folgende Werte:

Tages-Strombedarf: 13600 kWStd.

$\eta_{\text{Leitungen}} = 0{,}98$ (entsprechend einem Verlust von 2 %).

$\eta_{\text{Dynamo}} = 0{,}94$.

$\eta_{\text{mechan. der Dampfmaschine}} = 0{,}91$.

Die indizierte Tagesleistung der Dampfmaschine beträgt daher:

$$\frac{13600}{0{,}736 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}91} = 22040\ (\text{PS}_i\text{-Std}).$$

Da jede PS_i-Stunde 5,4 kg Dampf erfordert, ist der Tages-Dampfverbrauch der Dampfmaschine demnach:

$$22040 \cdot 5{,}4 = 119000\ \text{kg}.$$

Die Tages-Dampferzeugung der Kessel für den Strombedarf ist dann mit Rücksicht darauf, daß 15 % der Dampf-

erzeugung für die Pumpen und Verluste zu rechnen sind:

$$\frac{119000}{0,85} = \mathbf{139700\ kg.}$$

Der Wärme-Inhalt von 1 kg gesättigten Dampfes von 12 at Überdruck oder 13 kg/cm² abs. ist laut Dampftabelle: $\lambda = 668,9$ Kal.

Die zugehörige Sättigungstemperatur ist 190,6° C.

Die Überhitzung beträgt also $280 - 190,6 = 89,4^0$ C.

Zur Berechnung der dieser Überhitzung entsprechenden Vermehrung des Wärme-Inhaltes von 1 kg Dampf ist der Wert der mittleren spezifischen Wärme c_p des überhitzten Dampfes im Bereich von der Sättigungs-Temperatur bis 280° C erforderlich. Die Hütte 1923, I., S. 505 gibt in einer Tabelle diesen Wert bei 12 at abs. zu 0,556 und bei 14 at abs. zu 0,575 an, woraus für 13 at abs. etwa 0,565 folgt. Freytag S. 483 gibt ungefähr dieselbe Tabelle, etwas gekürzt. Dubbel I., S. 402 gibt eine ein wenig abweichende neuere Tabelle, aus der man den Wert 0,570 entnehmen würde. Der Wärme-Inhalt von 1 kg des überhitzten Dampfes ist daher

$$668,9 + 89,4 \cdot 0,565 = 668,9 + 50,5 = \mathbf{719,4\ WE/kg.}$$

Ungefähr denselben Wert, jedoch weit weniger genau, hätte man aus der Fig. 1, Bernoulli S. 391 an der linken Vertikalskala ablesen können, wenn man durch Interpolation nach Augenmaß den Punkt bestimmt, in dem sich die etwa horizontale etwas gebogene Linie für 280° (zwischen 250° und 300°) mit der schräg nach rechts aufwärts verlaufenden Linie für 13 at (zwischen 12 at und 14 at) schneidet. Gezogen sind freilich nur die Linien für 250° C und für 300° C bzw. die Linien für 12 at und für 14 at. Die Lage der fehlenden Zwischenlinien läßt sich aber hinreichend genau schätzen.

Die Temperatur des Kesselspeisewassers beträgt 40° C, der Wärme-Inhalt desselben daher 40 Kal/kg.

Dem Dampf sind somit zuzuführen:

$$719,4 - 40 = 679,4 \text{ Kal/kg.}$$

Jedes kg der verwendeten Kohle enthält 5232 Kal.

Zur Erzeugung von 1 kg Dampf (von 12 at Überdruck und 280° C) sind daher bei einem Wirkungsgrad der Kesselanlage von 0,75 erforderlich:

$$\frac{679,4}{5232 \cdot 0,75} = \mathbf{0,1731\ kg\ Braunkohle.}$$

(Die „Brutto-Verdampfungsziffer“ ist also

$$\frac{1}{0{,}1731} = 5{,}778 \text{ kg Dampf pro kg Kohle.)}$$

Insgesamt sind daher am Tage erforderlich:

$$0{,}1731 \cdot 139700 = \mathbf{24180\ kg} \text{ oder } \mathbf{24{,}18\ t\ Kohle.}$$

Die **Tages-Kohlenkosten** betragen daher:

$$24{,}18 \cdot 14 = \mathbf{338{,}50\ Goldmark.}$$

79. Die sekundliche normale Polwechselzahl des Generators beträgt gemäß dem Zeichen auf dem Frequenzmesser vermutlich 100 (die sekundliche Periodenzahl also 50), die minutliche Polwechselzahl also $100 \cdot 60 = 6000$. Da der Generator 10 Pole hat und der Vorbeigang jedes Poles an einem bestimmten Draht des Stators einem Polwechsel entspricht, so daß jede Umdrehung 10 Polwechsel ergibt, so muß der Generator in der Minute $\frac{6000}{10} = 600$ Umdrehungen machen.

Da die Transmission nur 150 Umdr./min macht, müssen die Riemenscheibendurchmesser sich verhalten wie $\frac{600}{150} = 4$, und zwar muß die Scheibe auf der Generatorwelle die kleinere sein. Sie muß daher ohne Berücksichtigung des Rutschverlustes einen Durchmesser von $\frac{1600}{4} = 400$ mm und mit Berücksichtigung des Rutschens einen Durchmesser von $400 \cdot 0{,}97 = 388$ oder rund **390 mm** erhalten. (Man beachte, daß wegen des Rutschens des Riemens die Scheibe kleiner, nicht etwa größer gewählt werden muß, als es sonst nötig wäre!)

80. Bei Metalldrahtlampen erfordert je eine Hefner-Kerze etwa 1,1 Watt (gemessen an der Lampe) (Bernoulli S. 570). 500 Lampen von je 50 HK brauchen daher zusammen

$$500 \cdot 50 \cdot 1{,}1 = \mathbf{27500\ Watt.}$$

Jede Bogenlampe erfordert eine Spannung von etwa 45 Volt (Bernoulli S. 571). Bei einer Netzspannung von 220 Volt werden daher üblicherweise immer je 4 Lampen in Reihe geschaltet (Bernoulli S. 572), so daß eine solche Reihe dem Netz einen Strom von 8 Amp bei 220 Volt entnimmt und $8 \cdot 220$ Watt verbraucht (gemessen an der Abzweigung vom Netz zu dieser Lam-

penreihe). Die 60 Bogenlampen bilden demnach $\frac{60}{4} = 15$ Reihen und brauchen zusammen $15 \cdot 8 \cdot 220 =$ **26400 Watt.**

Der Motor von 30 PS wird etwa einen Wirkungsgrad von 90% haben (Bernoulli S. 540), der Motor von 5 PS dagegen nur etwa 85%. Da theoretisch (d. h. bei $\eta = 1$) einer Motorleistung von 1 PS ein elektrischer Verbrauch von 736 Watt entsprechen würde (Bernoulli S. 521), so erfordert

$$\text{der große Motor: } \frac{30 \cdot 736}{0{,}9} = \mathbf{24533\ Watt,}$$

$$\text{der kleine Motor: } \frac{5 \cdot 736}{0{,}85} = \mathbf{4330\ Watt.}$$

Der Gesamtverbrauch im Netz, gemessen an den Lampen und Motoren, beträgt daher etwa 82800 Watt.

Schätzt man den Verlust im Leitungsnetz zu etwa 5%, so gehen in ihm verloren etwa $0{,}05 \cdot 82800 \approx 4100$ Watt, so daß die Dynamomaschine $82800 + 4100 = 86900$ Watt erzeugen muß.

Dazu braucht sie bei einem mit 93% angenommenen Wirkungsgrad eine zugeführte Leistung von

$$\frac{86900}{0{,}93}\ \text{Watt oder}\ \frac{86{,}9}{0{,}93}\ \text{kW oder}\ \frac{86{,}9}{0{,}93 \cdot 0{,}736}\ \text{PS} = 127\ \text{PS}.$$

Unter Zuschlag von 3% für den Verlust durch Schlupf, Steifigkeit und Luftwiderstand des Riemens (Hütte 1923, I., S. 1135, 304. — Bernoulli S. 117, 118. — Dubbel I., S. 762. — Freytag S. 210) muß daher die Dampfmaschine an den Antriebsriemen der Dynamo etwa $127 + 4 \approx$ **131 PS** abgeben. Dies muß demgemäß, wenn sie keine weiteren Maschinen zu treiben hat, mindestens ihre Effektiv-Leistungsfähigkeit sein. (Die indizierte ist größer!)

81. Aus der kleinen Düse floß in 11 Min 42 Sek oder in 702 Sek eine Wassermenge von $1{,}57 \cdot 2{,}38 \cdot 1{,}69 = 6{,}315\ m^3$ oder sekundlich $\frac{6{,}315}{702} = 0{,}00900$ cbm/sek. Der Durchmesser jeder großen Düse war $\frac{160}{50} = 3{,}2$ mal so groß als der der kleinen Düse; der Querschnitt einer großen Düse war daher das $3{,}2^2 = 10{,}24$ fache des Querschnittes der kleinen Düse.

Ebenso groß war das Verhältnis der aus einer großen Düse austretenden Wassermenge zu der aus der kleinen Düse in der gleichen Zeit austretenden, weil das Wasser aus beiden Düsen unter der Wirkung derselben Druckhöhe austrat und alle Düsen

gut abgerundet waren, also den gleichen Ausflußkoeffizienten hatten.

Die gesamte in einer bestimmten Zeit von der Pumpe geförderte Wassermenge war daher das $(1 + 10{,}24 + 10{,}24) = 21{,}48$fache der aus der kleinen Düse in derselben Zeit ausgeflossenen Menge.

Die Pumpe förderte daher $0{,}00900 \cdot 21{,}48 = 0{,}1933$ cbm/sek.

Die manometrische Gesamtförderhöhe (Saughöhe + Druckhöhe) der Pumpe betrug: $0{,}24 + 1{,}27 = 1{,}51$ at oder 15,1 m Wassersäule.

Die Nutzleistung der Pumpe war daher:

$$0{,}1933 \cdot 1000 \cdot 15{,}1 = 2919 \text{ mkg/sek.}$$

Der Motor verbrauchte 88,5 Amp bei 440 Volt, also

$$88{,}5 \cdot 440 = 38940 \text{ Watt.}$$

Der Wirkungsgrad von Pumpe und Motor zusammen ist $\frac{\text{Nutzleistung der Pumpe}}{\text{Verbrauch des Motors}}$, wobei jedoch beide Leistungen in derselben Einheit gemessen werden müssen, z. B. beide in Watt. Daraus folgt, da 1 mkg/sek = 9,81 Watt ist,

$$\eta_{\text{Mot + Pumpe}} = \frac{2919 \cdot 9{,}81}{38940} = \mathbf{0{,}735.}$$

82. Zu 1. Bei der Messung nach Abb. 21 drückten die Bremse und der Stab u zusammen auf die Lastseite der Dezimalwage mit einer Kraft von $10 \cdot 0{,}592 = 5{,}920$ kg, die Bremse allein also mit $5{,}920 - 0{,}370 = 5{,}550$ kg. Das „Eigen-Drehmoment" der Bremse (ohne Gewichte am Haken p und ohne Aufwärtszug am Haken q) in bezug auf die Drehachse der Bremsscheibe und der Motorwelle beträgt daher $5{,}550 \cdot 2{,}000 = 11{,}10$ mkg. Es dreht links herum (↺).

Bei der Messung nach Abb. 20 (der eigentlichen Bremsung) wirkten auf den Bremszaum drehend:

1. die am Haken p hängenden Gewichte (15 kg) mit einem Hebelarm von 2,00 m, also einem Drehmoment von 30,00 mkg, und zwar links herum (↺);
2. das „Eigendrehmoment der Bremse" von 11,10 mkg, links herum (↺);
3. die am Haken q aufwärts ziehende Kraft mit einem Hebelarm von 1,1605 m, und zwar rechts herum (↻).

An der Federwage s wurde bei A abgelesen: 32 mm. Die Eichung der Federwage ergab

bei Belastung mit	500	1000	1500 g
eine Verlängerung um	44	84	121 mm,
also eine Last von	0,01135	0,0119	0,0124 kg/mm.
Mittelwert etwa		0,0119 kg/mm.	

Von diesen Eichziffern kann man den Mittelwert 0,0119 kg/mm benutzen oder (genauer) durch graphische Interpolation an Hand der gefundenen drei Wertepaare die Last aus der Ablesung A bestimmen.

Bei Wahl der ersteren Methode ergibt sich der senkrecht abwärts am Haken der Federwage wirkende Zug zu $0{,}0119\,(A-8)$ kg, oder im vorliegenden Fall $0{,}0119\,(32-8)=0{,}286$ kg.

Dieser Zug rührte her vom Gewicht der Kette r (dies betrug 0,075 kg) und von dem Zug, der zwischen dem unteren Kettenglied und dem Haken q herrscht. Der letztere Zug betrug daher $0{,}286 - 0{,}075 = 0{,}211$ kg. Das Drehmoment dieser Kraft in bezug auf die Motorwellenachse war $0{,}211 \cdot 1{,}1605 = 0{,}245$ mkg, und zwar rechts herum (↻).

4. das vom Motor herrührende Drehmoment, das durch die zwischen Bremsscheibe und Bremsbacken auftretende Reibung auf den Bremshebel übertragen wird. Es dreht rechts herum (↻).

Daraus, daß der Bremshebel a ruhig steht, folgt, daß die beiden rechts drehenden Momente zusammen gleich der Summe der beiden linksdrehenden sind:

$$\mathfrak{M}_{\text{Motor}} + 0{,}245 = 30{,}00 + 11{,}10;$$

$$\mathfrak{M}_{\text{Motor}} = 30{,}00 + 11{,}10 - 0{,}245 = \mathbf{40{,}855\ mkg.}$$

Die minutliche Umdrehungszahl des Motors ergibt sich daraus, daß die Steuerwelle (die bei Viertaktmotoren sich halb so schnell dreht wie die Motorwelle) 500 Umdrehungen, die Motorwelle also 1000 Umdrehungen in angeblich 3 Min 39,4 Sek oder 219,4 Sek, wirklich in $1{,}0091 \cdot 219{,}4 = 221{,}4$ Sek machte. Es war also

$$n = \frac{1000 \cdot 60}{221{,}4} = 271{,}0 \text{ Umdr. pro Minute.}$$

Die Winkelgeschwindigkeit der Motorwelle war daher

$$\omega = \frac{271{,}0 \cdot 2 \cdot \pi}{60} = 28{,}28 \text{ in der Sek.}$$

Daraus ergibt sich die während der Messung vom Motor abgegebene Bremsleistung ($N = \omega \cdot \mathfrak{M}$) zu:

$$28{,}28\ (\text{sek}^{-1}) \cdot 40{,}855\ (\text{mkg}) = 1155{,}4 \text{ mkg/sek}$$

oder

$$\frac{1155{,}4}{75} = \mathbf{15{,}41\ PS.}$$

Zu 2. 1 kg am Haken p ergibt bei dem Hebelarm von 2,00 m ein Drehmoment von 2 mkg; 275 Umdrehungen in der Minute bedeuten eine Winkelgeschwindigkeit von $\frac{275 \cdot 2 \cdot \pi}{60} = 28{,}80 \text{sek}^{-1}$. Die beiden Werte ergeben also eine Bremsleistung von $2 \cdot 28{,}80 = 57{,}60$ mkg/sek oder von $\frac{57{,}60}{75} = $ **0,768 PS.**

Dies ist indessen nur die Vermehrung der Bremsleistung für je eine Vermehrung der Gewichte um 1 kg. Auch ohne Gewichte am Haken p besteht aber wegen des unsymmetrischen Eigengewichtes der Bremse bereits ein Drehmoment von 11,10 mkg, also bei $\omega = 28{,}80$ eine Bremsleistung von $28{,}80 \cdot 11{,}10 = 319{,}7$ mkg/sek oder von $\frac{319{,}7}{75} = 4{,}263$ PS.

Die gesamte Bremsleistung bei 1 kg am Haken p und bei $n = 275$ beträgt daher $4{,}263 + 0{,}768 = 5{,}031$ PS. Allgemein wird bei G kg am Haken p und bei $n = 275$ die Bremsleistung: $(0{,}768\, G + 4{,}26)$ PS, wenn der Zug am Haken q vernachlässigt wird.

Der Zug am Haken q senkrecht aufwärts beträgt

$$0{,}0119 \cdot (A - 8) \text{ kg}.$$

Er ergibt ein Drehmoment von $0{,}0119\ (A - 8) \cdot 1{,}1605$ mkg (rechts drehend) und bei $n = 275$ oder $\omega = 28{,}80$ eine Leistung von $0{,}0119\ (A - 8) \cdot 1{,}1605 \cdot 28{,}80$ mkg/sek oder von

$$\frac{0{,}0119\ (A - 8) \cdot 1{,}1605 \cdot 28{,}80}{75} = (0{,}00530 \cdot A - 0{,}0424) \text{ PS}.$$

Dieser Wert ist, da sein Drehmoment die umgekehrte Richtung hat wie das der Gewichte und des Bremsbalkens, vom Werte $(0{,}768\, G + 4{,}26)$ PS abzuziehen.

Zu 3. 20% Überlastung bedeutet eine Bremsleistung von $1{,}2 \cdot 20 = 24$ PS oder $24 \cdot 75 = 1800$ mkg/sek. Die minutliche Umdrehungszahl ist zu $0{,}92 \cdot 275 = 253$ angenommen, ω also zu $\frac{253 \cdot 2 \cdot \pi}{60} = 26{,}49$. Es ist daher ein bremsendes Gesamtdrehmoment (links herum) von $\frac{1800}{26{,}49} = 67{,}95$ mkg erforderlich. Hiervon liefert das Eigendrehmoment der Bremse 11,10 mkg, so daß die Gewichte am Haken p noch $67{,}95 - 11{,}10 = 56{,}85$ mkg liefern müssen. Da ihr Hebelarm 2,00 m ist, muß ihr Gewicht $\frac{56{,}85}{2{,}00} = $ **28,425 kg** sein.

83. Aus den Angaben über die abgelesenen Ausschläge und über die Art und Schaltung der benutzten Instrumente und Apparate sind zunächst die Werte von Strom (in einer Phase) i in Amp, Spannung (zwischen je zwei Phasen) e in Volt und Gesamtleistung N in Watt zu ermitteln. Dann folgt der gesuchte Wert von $\cos\varphi$ aus $N = i \cdot e \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi$. Hiernach ergibt sich der folgende Rechnungsgang:

a) Stromstärke.

Meßbereich des Amperemeters ohne Stromwandler: 5 Amp.
Meßbereich des Amperemeters mit Stromwandler (für 400/5 Amp): 400 Amp.
Anzahl der Skalenteile des Amperemeters: 100^0.
Bedeutung eines Skalenteiles daher: $1^0 = \frac{400}{100} = 4$ Amp.
Ablesung: $62{,}4^0$.
Stromstärke daher: $i = 62{,}4 \cdot 4 =$ **249,6 Amp.**

b) Spannung.

Meßbereich des Voltmeters ohne Vorwiderstand und ohne Spannungswandler: 130 Volt.
Anzahl der Skalenteile: 130^0.
Bedeutung eines Skalenteiles ohne Vorwiderstand und ohne Spannungswandler: $1^0 = \frac{130}{130} = 1$ Volt.
Verwendeter Spannungswandler: 2000/110 Volt.
Ein Vorwiderstand ist nicht verwendet!
Bedeutung eines Skalenteiles bei der benutzten Anordnung daher:

$$1^0 = 1 \cdot \frac{2000}{110} \text{ Volt.}$$

Ablesung: $112{,}3^0$.
Spannung demnach: $e = 112{,}3 \cdot \frac{2000}{110} =$ **2042 Volt.**

c) Leistung.

Bedeutung eines Skalenteiles eines Wattmeters bei Benutzung der wirklich benutzten Spannungsklemme (30 Volt, 1000 Ω), aber ohne Vorwiderstand und ohne Strom- und Spannungswandler: $1^0 = 1$ Watt (oder $C = 1$).

Der Wert von C wird durch den verwendeten Vorwiderstand, der den Gesamtwiderstand des Spannungskreises auf das Vierfache erhöht (von 1000 Ohm auf 1000 + 3000 Ohm) (und der daher auch eine vierfache Spannung anzulegen gestattet, nämlich 120 Volt

statt 30 Volt), vervierfacht. Für das Instrument mit dieser Instrumentenklemme und diesem Vorwiderstand, aber ohne Strom- und Spannungswandler, würde daher 1 Skalenteil 4 Watt bedeuten ($C = 4$).

Durch den Stromwandler mit dem Übersetzungsverhältnis $\frac{400}{5}$ Amp wird dieser Wert von C nochmals verachtzigfacht ($C = 320$; $1^0 = 320$ Watt).

Durch den Spannungswandler mit dem Übersetzungsverhältnis $\frac{2000}{110}$ Volt wird dieser Wert von C nochmals im Verhältnis $\frac{2000}{110}$ vergrößert.

Insgesamt bedeutet daher ein Skalenteil:

$$1 \text{ Watt} \cdot \frac{4000\ \Omega}{1000\ \Omega} \cdot \frac{400 \text{ Amp}}{5 \text{ Amp}} \cdot \frac{2000 \text{ Volt}}{110 \text{ Volt}} = 5818 \text{ Watt}.$$

Da beide Instrumente bei genau symmetrischer Schaltung in gleichem Sinne ausschlugen, nämlich beide nach rechts, zeigen beide eine Leistung gleichen Vorzeichens an, so daß ihre Angaben zu addieren sind[1]). Da sie dieselbe Konstante haben (weil sie gleich sind und bei beiden gleiche Vorwiderstände und Wandler benutzt wurden), kann man schon die Ausschläge addieren und dann die Summe mit der gemeinsamen Konstanten multiplizieren. Die gesamte Leistung ist daher:

$N = (76{,}2 + 9{,}6) \cdot 5818 = 85{,}8 \cdot 5818 = 499\,200$ Watt oder **499,2 kW.**

d) Leistungsfaktor.

Aus $N = i \cdot e \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi$ folgt

$$\cos\varphi = \frac{N}{i \cdot e \cdot \sqrt{3}} = \frac{499200}{249{,}6 \cdot 2042 \cdot \sqrt{3}} = 0{,}565.$$

84. In den Formeln über die Bewegung des Wassers in Kanälen und Rohrleitungen[2]) spielen eine wichtige Rolle die Größen:

F = Querschnittsfläche des Wasserstromes, also der Flächeninhalt des Kanalprofils bis zur Wasseroberfläche, in qm;

---

[1]) Wären bei einem Wattmeter die Stromklemmen oder die Spannungsklemmen umgekehrt geschaltet wie beim anderen oder ständen die etwa vorhandenen im Instrument eingebauten oder äußeren Umschalter verschieden, so wäre der kleinere Wert vom größeren zu subtrahieren.

[2]) Bernoulli S. 276. — Hütte 1923, I., S. 387, wo u statt U steht. — Freytag S. 759, 760, wo u statt U steht.

U = benetzter Teil des Profilumfanges, also Summe der Boden- und Seitenkanten, soweit sie unterhalb des Wasserspiegels liegen, ohne die Wasserlinie selbst, in m;

$\frac{U}{F}$, das Verhältnis beider Werte, in $\frac{\text{m}}{\text{qm}}$. (Man beachte, daß der Zahlenwert dieses Verhältnisses stark von der gewählten Einheit abhängt, und z. B. in $\frac{\text{cm}}{\text{qcm}}$ zehnmal kleiner wäre. Der Begriff ist eben nicht dimensionslos, wie sonst bei Verhältnissen üblich.)

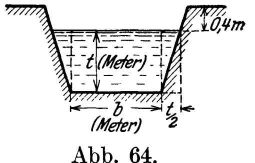


Abb. 64.

Diese Werte sind zunächst zu ermitteln, d. h. auf den Wert von t (Wassertiefe) oder b (Sohlenbreite) zu beziehen.

Aus den gegebenen Angaben und der Abbildung 64 folgt:

$$\text{Profilquerschnitt } F = bt + \frac{t^2}{2} \text{ (qm)}.$$

Da ferner $b = 1{,}23\,t$ sein soll, so wird

$$F = 1{,}23\,t^2 + 0{,}5\,t^2 = 1{,}73\,t^2 \text{ (qm)}.$$

Der benetzte Umfang des Profils ist:

$$U = b + 2\sqrt{t^2 + \left(\frac{t}{2}\right)^2} = b + 2\sqrt{\frac{5}{4}} \cdot t = 1{,}23\,t + 2{,}24\,t$$
$$= 3{,}47\,t \text{ (Meter)}.$$

Daraus ergibt sich für $\frac{U}{F}$ der Betrag:

$$\frac{U}{F}\left(\text{in } \frac{\text{Meter}}{\text{Quadratmeter}}\right) = \frac{3{,}47\,t}{1{,}73\,t^2} = \frac{2}{t}.$$

Die Beziehung zwischen dem Gefälle H (in m), dem benetzten Umfang U (in m), dem Profilquerschnitt F (in qm), der Kanallänge L (in m) und der Wassergeschwindigkeit v (in m/sek) ist gemäß Bernoulli S. 276, Formel (2) für Kanäle mit glatter Zementfläche (nach Darcy und Bazin)[1]:

$$H = 0{,}00015\left(1 + 0{,}03 \cdot \frac{U}{F}\right) L \cdot \frac{U}{F} \cdot v^2.$$

---

[1]) Die Hütte 1923, I., S. 387 gibt die Formel $w = \varrho\, l\, \frac{u}{F}\, \frac{v^2}{2g}$ und die ältere Formel von Bazin $\sqrt{\frac{2g}{\varrho}} = \sqrt{\frac{1}{a + bu : F}}$; dazu als Fall I für gehobeltes Holz oder Zement die Koeffizienten $a = 0{,}00015$ und $b = 0{,}0000045$.
[Fortsetzung siehe S. 154.]

Daraus wird durch Einsetzen der oben berechneten Werte und des gegebenen Gefälls von 1,1 m:

$$1{,}1 = 0{,}00015 \cdot \left(1 + 0{,}03 \cdot \frac{2}{t}\right) \cdot 2300 \cdot \frac{2}{t} \cdot v^2.$$

Ferner ist $v = \frac{Q}{F}$, worin Q die Wasserstromstärke in cbm/sek bedeutet, die gemäß der Aufgabe $\frac{180\,\text{cbm}}{60\,\text{sek}} = 3$ cbm/sek sein soll; es ist also $v = \frac{3}{1{,}73\,t^2}$. Setzt man diesen Wert in die vorige Gleichung ein, so folgt:

$$1{,}1 = 0{,}00015\left(1 + \frac{0{,}06}{t}\right)\frac{2300 \cdot 2 \cdot 9}{t \cdot 1{,}73^2 \cdot t^4};$$

$$1 = \frac{0{,}00015 \cdot 2300 \cdot 2 \cdot 9}{1{,}1 \cdot 1{,}73^2 \cdot t^5} + \frac{0{,}00015 \cdot 2300 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 0{,}06}{1{,}1 \cdot 1{,}73^2 \cdot t^6};$$

$$t^6 = \frac{0{,}00015 \cdot 2300 \cdot 2 \cdot 9}{1{,}1 \cdot 1{,}73^2} \cdot t + \frac{0{,}00015 \cdot 2300 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 0{,}06}{1{,}1 \cdot 1{,}73^2};$$

$$t^6 - 1{,}89\,t - 0{,}1135 = 0.$$

Diese Gleichung wird durch probeweises Einsetzen bestimmter Zahlen für t und systematisches Annähern gelöst gemäß folgender Tabelle:

Die etwas abweichende Bezeichnungsweise der Hütte, verglichen mit der von Bernoulli, ergibt sich aus der folgenden Gegenüberstellung der Buchstaben von genau gleicher Bedeutung:

Hütte	w	ϱ	l	u	F	v	g
Bernoulli	H		L	U	F	v	

g bedeutet die Endbeschleunigung $= 9{,}81$ m/sek². Aus der zweiten Formel der Hütte mit den angegebenen Koeffizienten folgt in der Bezeichnungsweise der Hütte:

$$\frac{\varrho}{2g} = a + b\,\frac{u}{F} = 0{,}00015 + 0{,}0000045\,\frac{u}{F} = 0{,}00015\left(1 + \frac{0{,}03\,u}{F}\right).$$

Durch Einsetzen in die erste Formel ergibt sich dann

$$w = 0{,}00015\left(1 + \frac{0{,}03\,u}{F}\right)\frac{l\,u\,v^2}{F},$$

also genau dieselbe Formel wie bei Bernoulli.

Freytag S. 759, 760 nennt den Gefällverlust H_ϱ und gibt die oben aus der Hütte zitierten Formeln in derselben Form an.

	Spalte Nr.				
	1	2	3	4	5
t	1	1,2	1,1247	1,1443	1,1476
t^3	1	1,728	1,423	1,4983	
t^6	1	2,986	2,024	2,2449	2,2843
$-1,89\,t$	$-1,89$	$-2,268$	$-2,126$	$-2,1627$	$-2,1690$
$-0,1135$	$-0,11$	$-0,114$	$-0,114$	$-0,1135$	$-0,1135$
$-1,89\,t-0,1135$	$-2,00$	$-2,382$	$-2,240$	$-2,2762$	$-2,2825$
$t^6-1,89\,t-0,1135$	$-1,00$	$+0,604$	$-0,216$	$-0,0313$	$+0,0018$

Bemerkungen zur Berechnung der Tabelle: Zunächst ist, als ein für die Rechnung bequemer Wert, auf gut Glück eingesetzt: $t = 1$ m (Spalte 1). Dabei ergab sich (in der letzten Zeile) für die rechte Seite der Gleichung an Stelle von 0 der Betrag $-1,00$. In Spalte 2 ist die Rechnung mit $t = 1,2$ wiederholt und ergab $+0,604$. Der richtige Wert von t liegt also zwischen 1,0 und 1,2 m. (Die Unterteilung der Berechnung des Zahlenwertes für t^6 in zwei Stufen, nämlich t^3 und t^6 geschah, um Tabellen für die Quadrate und Kuben der Zahlen von 1 bis 1000 benutzen zu können, wie sie fast alle Handbücher enthalten (Bernoulli S. 1. — Hütte 1923, I., S. 2. — Dubbel I., S. 2. — Freytag S. 2), indem man zu dem Wert von t erst den Kubus und dann zu dieser Zahl wieder das Quadrat aufschlägt).

Da die Erhöhung des für t eingesetzten Wertes von Spalte 1 zu Spalte 2 um 0,2 eine Vermehrung der rechten Seite um 1,604 ergeben hat und die rechte Seite jetzt um 0,604 zu groß ist, so ist für die nächste Annäherung der für t einzusetzende Wert zu verringern um $0{,}2\,\frac{0{,}604}{1{,}604} = 0{,}0753$, so daß sich als der folgende Näherungswert für t ergibt: $1{,}2 - 0{,}0753 = 1{,}1247$. Dieser wird nun in Spalte 3 eingesetzt und ergibt für die rechte Seite $-0{,}216$. Der richtige Wert ist daher etwas größer als 1,1247, und zwar schätzungsweise um $\frac{0{,}0753 \cdot 0{,}216}{0{,}604 + 0{,}216} = \frac{0{,}0753 \cdot 0{,}216}{0{,}820} = 0{,}0196$. Als nächster Wert wird daher in Spalte 4 eingesetzt: $1{,}1247 + 0{,}0196 = 1{,}1443$. Dabei wird die rechte Seite $= -0{,}0313$. Der richtige Wert ist daher größer als 1,1443, und zwar schätzungsweise um

$$\frac{0{,}0196 \cdot 0{,}0313}{0{,}216 - 0{,}0313} = \frac{0{,}0196 \cdot 0{,}0313}{0{,}185} = 0{,}0033,$$

woraus sich als nächster Näherungswert für t ergibt: $0{,}0033 + 1{,}1443 = 1{,}1476$. Wird dieser in Spalte 5 eingesetzt, so wird die rechte Seite $+0{,}0018$, also nahezu Null. Der Wert $t = 1{,}1476$ m ist also nahezu richtig und wird durch Interpolation noch um $\frac{0{,}0033 \cdot 0{,}0018}{0{,}0331} = 0{,}00018$ auf **1,1474 Meter** korrigiert.

Die hier erzielte Genauigkeit ist übertrieben, sowohl im Hinblick auf die ungenaue spätere Ausführung durch die Erdarbeiter und Maurer, als auch auf die Unsicherheit der Reibungskoeffizienten. Eine Annäherung bis auf etwa 1 cm an den richtigen Wert hätte vollauf genügt; man hätte also mit der Interpolation nach Durchrechnung von Spalte 3 abbrechen und den Wert 1,14 m als richtig annehmen können. Man beachte, wie rasch schon mit wenigen Probewerten auch bei dieser primitiven Art der Lösung eine hohe Genauigkeit erzielt werden kann.

Aus $t = \mathbf{1{,}1474\ m}$ folgt: $b = 1{,}23\,t = 1{,}23 \cdot 1{,}1474 = \mathbf{1{,}411\ m}$, womit dann das gesamte Profil festgelegt ist, wie die Abbildung 65 es darstellt.

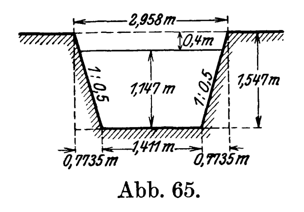


Abb. 65.

Zur Kontrolle der Rechnung sollen noch an Hand dieses Profiles die Werte von F, v, U berechnet und daraus das erforderliche Gefälle H bestimmt werden, das, wenn die Rechnung richtig war, mit dem gegebenen Gefälle von 1,1 m übereinstimmen muß:

$$F = 1{,}73\,t^2 = 1{,}73 \cdot 1{,}1474^2 = \mathbf{2{,}278\ qm},$$

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{3}{2{,}278} = \mathbf{1{,}317\ m/sek},$$

$$U = 3{,}47\,t = 3{,}47 \cdot 1{,}1474 = \mathbf{3{,}981\ m},$$

$$\frac{U}{F} = \frac{2}{t} = \frac{2}{1{,}1474} = \mathbf{1{,}743},$$

$$\begin{aligned} H &= 0{,}00015 \cdot (1 + 0{,}03 \cdot 1{,}743)\, 2300 \cdot 1{,}743 \cdot 1{,}317^2 \\ &= 0{,}00015 \cdot 1{,}05229 \cdot 2300 \cdot 1{,}743 \cdot 1{,}317^2 \\ &= 1{,}095, \end{aligned}$$

also sehr nahe gleich dem gegebenen Wert von 1,1 m. Die gefundenen Abmessungen des Kanalprofils sind also richtig.

85. A. Kesselanlage.

Aus dem angegebenen Dampfverbrauch von 7 kg/kWStd bei Sattdampf von 12 at Überdruck (13 at absolut) und bei 85 % Vakuum ist zunächst der Verbrauch bei den hier zutreffenden Verhältnissen (13 at absolut, 350° C, 93 % Vakuum) zu ermitteln. Dazu dienen die Angaben, daß der Verbrauch für je 5 bis 6° C der Überhitzung um 1 % abnimmt und ferner für je 3/4 cm Quecksilbersäule der Verbesserung des Vakuums um 1,1 % (Bernoulli S. 476; ähnlich Hütte 1923, II., S. 270. — Dubbel II., S. 286).

Bei einem Druck von 13 at absolut (metrische Atmosphären oder kg/cm²!) ist die Sattdampftemperatur 190,6° C (Hütte 1923,

I., S. 499. — Bernoulli S. 388 rechnet mit alten Atmosphären! — Dubbel I., S. 379. — Freytag S. 479).

Die Überhitzung beträgt also 350 — 190,6 = 160,4° C. Die Dampfersparnis (nicht Kohlenersparnis!) durch die Überhitzung beträgt daher etwa $\frac{160,4}{5,5} = 29\,\%$.

Die Erhöhung des Vakuums gegenüber derjenigen, auf die sich die Angabe von 7 kg/kWStd bezog, beträgt 93 — 85 = 8% oder 0,08 (alte) Atmosphären oder 0,08·76 cm Quecksilber = 6,1 cm Quecksilbersäule. Hierdurch wird nach dem Gesagten eine weitere Dampfersparnis von $\frac{6,1 \cdot 1,1}{3/4} \approx 9\,\%$ erzielt.

Der wirkliche Dampfverbrauch pro kWStd beträgt daher nur $7 \cdot 0,71 \cdot 0,91 \approx 4,5$ kg/kWStd. Daraus ergibt sich der gesamte Dampfverbrauch pro Stunde (bei voller Belastung der Turbine) zu $4,5 \cdot 2500 = 11250$ kg/Std. Dazu ist für den Dampfverbrauch der Pumpen, für Verluste usw. ein Zuschlag von etwa 10% zu machen, so daß die Kesselanlage etwa $1,1 \cdot 11250 \approx 12500$ kg Dampf pro Stunde erzeugen muß.

Wenn gute Ausnutzung der Kohle verlangt wird, können auf je 1 qm der Kesselheizfläche pro Stunde etwa 17 kg Dampf erzeugt werden (Bernoulli, S. 399 unter b. — Hütte 1923, II., S. 7, 38. — Dubbel II., S. 4. — Freytag S. 634). Es ist daher eine gesamte Kesselheizfläche von $\frac{12500}{17} \approx 735$ qm erforderlich. Da jeder Kessel nicht größer als 200 qm sein soll, so wird man 4 Kessel wählen (außerdem einen fünften als Reserve) von je etwa 185 qm Heizfläche (Doppelkessel) (Hütte 1923, II., S. 11. — Bernoulli S. 402. — Dubbel II., S. 54. — Freytag S. 658).

Um die erforderliche Rostfläche zu bestimmen, ist zunächst die gesamte pro Stunde zu verfeuernde Kohlenmenge zu ermitteln. Diese ergibt sich aus der Angabe, daß bei guter Ausnutzung der Kohle je 1 kg guter Steinkohle etwa 8 kg Dampf erzeugt (Bernoulli S. 399. — Hütte 1923, II., S. 39. — Dubbel II., S. 5. — Freytag S. 633)

Zur Erzeugung von 12500 kg Dampf pro Stunde sind daher im ganzen etwa $\frac{12500}{8} = 1565$ kg oder in jedem Kessel etwa $\frac{12500}{8 \cdot 4} \approx 390$ kg Kohle pro Stunde zu verfeuern. Da bei der Forderung guter Ausnutzung auf je 1 qm Rostfläche etwa 75 kg dieser Kohle stündlich verbrannt werden können (Bernoulli S. 399. — Hütte 1923, II., S. 38. — Dubbel II., S. 3. — Freytag S. 633), so

braucht jeder Kessel einen Rost von etwa $\frac{390}{75} = 5{,}2$ qm. Diese Rostfläche wird sich in 2 Flammrohren noch eben unterbringen lassen.

B. Kamin.

Der Mündungsquerschnitt F (in qm) des Kamins beträgt für mittlere Verhältnisse nach einer von Lang angegebenen empirischen Regel zweckmäßig etwa $F = \frac{G}{10000}$ qm (mindestens aber 0,6 qm), wobei G das Gewicht der stündlich abzuführenden Heizgase in kg bedeutet (Bernoulli S. 370. — Hütte 1923, II., S. 51. — Dubbel II., S. 41. — Freytag S. 635).

Der Wert von G ergibt sich aus dem stündlich zu verfeuernden Kohlengewicht von 1565 kg und der zur Verbrennung von 1 kg mittlerer Steinkohle im praktischen Betriebe erforderlichen Luftmenge von etwa 15 kg (Bernoulli S. 369. — Hütte 1923, I., S. 547; II., S. 40, 51. — Dubbel II., S. 41; I., S. 563, 564. — Freytag S. 635, 623).

Das Heizgasgewicht der ganzen Kesselanlage pro Stunde ergibt sich daraus etwa zu $G = 1565\,(15 + 1) \approx 25000$ kg/Std, woraus dann folgt: $F = \frac{25000}{10000} = 2{,}5$ qm.

Die Mündungsweite ist dann 1,79 oder rund **1,8 m.**

Für die Höhe gibt Lang die Formel:

$$h \text{ (in Meter)} = 15\,d + 10 \text{ bis } 15\,d + 15,$$

wobei d den Mündungsdurchmesser bedeutet (Bernoulli S. 370. — Hütte 1923, II., S. 51/52. — Dubbel II., S. 40/41. — Freytag S. 636).

Strupler gibt eine Formel:

$$h \text{ (in m)} = 5{,}6\sqrt[3]{\text{gesamte Heizfläche in qm}}$$ (Bernoulli S. 370).

Die Formel von Lang ergibt in diesem Falle:

$$h = 15 \cdot 1{,}8 + 10 = 37 \text{ m bis } 15 \cdot 1{,}8 + 15 = 42 \text{ m};$$

die Formel von Strupler ergibt:

$$5{,}6\sqrt[3]{735} = 5{,}6 \cdot 9{,}03 = 50{,}5 \text{ m}.$$

Wir wählen also etwa **45 m.**

86. Das Zifferblatt jedes Wattstundenzählers zeigt (evtl. nach Multiplikation mit einer auf dem Zifferblatt angegebenen Konstanten) Kilowattstunden an. Der Zähler behauptet, daß seit

seiner letzten Ablesung bis jetzt so viele kWStd durch ihn hindurchgeflossen sind, als dem Unterschied zwischen den Angaben des Zifferblattes von damals und jetzt entspricht. Diese Behauptung kann falsch sein. Zweck der Eichung ist es, festzustellen, um wieviel diese angebliche Arbeitsmenge von der wirklich durchgeflossenen und durch zuverlässige Instrumente (Amperemeter, Voltmeter, Uhr) gemessenen abweicht.

Da bei einem guten Zähler diese Abweichung (in der Nähe der vollen Belastung) nur einige Prozente beträgt, und gerade diese Abweichung festgestellt werden soll, so muß die Messung sehr genau ausgeführt werden. Alle in das Endergebnis eingehenden Meßwerte dürfen höchstens um $^1/_2\,^0/_0$ ungenau sein. Bezüglich der Werte für Strom, Spannung und Zeit macht das keine große Schwierigkeit. Wollte man aber den Fortschritt des Zählers während der Eichung nur durch Ablesungen an den sehr langsam vorschreitenden Ziffern oder Zeigern des Zifferblattes feststellen, so würde dazu behufs Erzielung der geforderten Genauigkeit der Durchgang einer sehr großen Zahl von kWStd erforderlich sein, so daß die Eichung sehr langwierig und (wegen des großen Stromverbrauches) auch sehr teuer werden würde.

Deswegen benutzt man bei der Eichung aller Motorzähler zur Feststellung des Zählerfortschrittes meistens nicht das Zifferblatt, sondern beobachtet durch ein Fensterchen einen an der Bremsscheibe oder am rotierenden Anker angebrachten Fleck und zählt danach die Umdrehungen der Zähler-Ankerachse. Jetzt genügt es (bezüglich der Feststellung des Zählerfortschrittes), die Eichung so lange auszudehnen, bis die Zahl der Umdrehungen so groß ist, daß sie mit der verlangten Genauigkeit festgestellt werden kann. Die dazu erforderliche Zeit ist sehr viel kürzer als die bei Benutzung des Zifferblattes nötige und beträgt meistens nur wenige Minuten. So lange muß die Eichung freilich mindestens dauern, daß auch die Zeitdauer mit der verlangten Genauigkeit gemessen werden kann.

Die durch die Eichung auf ihre Richtigkeit nachzuprüfende Behauptung des Zählers: „Eine wirklich durchgeflossene kWStd verursacht einen Fortschritt meines Zifferblattes um eine (angezeigte) kWStd“ läßt sich in zwei Staffeln zerlegen: erstens: „eine wirklich durchgeflossene kWStd verursacht a Umdrehungen der Zählerwelle“; zweitens: „a Umdrehungen der Zählerwelle verursachen einen Fortschritt des Ziffern- oder Zeigerwerkes um eine (angezeigte) kWStd.“ (Die Zahl a ist auf fast jedem Motorzähler angegeben; im vorliegenden Falle ist sie 900.)

Von diesen beiden Behauptungen braucht die zweite im allgemeinen nicht nachgeprüft zu werden, weil sie nur von den Zähnezahlen der Zahnräder und ihrem richtigen Eingriff abhängt und kaum anzunehmen ist, daß sich daran seit der Fertigstellung des Zählers etwas geändert haben könnte oder daß diese Angabe schon bei Ausgang des Zählers aus der Fabrik falsch war. Nachzuprüfen ist daher nur die erste Behauptung (hier: daß je eine durchfließende kWStd 900 Umdrehungen veranlaßt); diese kann nämlich sehr leicht falsch sein oder falsch werden, wenn z. B. die Lager oder der Kollektor verschmutzen, der Bremsmagnet seinen Magnetismus ändert oder verschoben wird, oder wenn am Vorwiderstand oder Nebenschluß etwas geändert ist; usw.

Die Eichung besteht daher darin, daß einerseits die wirklich durchgeflossene Arbeit in kWStd oder bequemer in Wattsek festgestellt wird, andererseits die dadurch verursachten Umdrehungen und der diesen Umdrehungen entsprechende Fortschritt der Zählwerksangaben in kWStd oder Wattsek, und daß dann die beiden Zahlen miteinander verglichen werden.

Danach ergibt sich folgender Rechnungsgang:

Wirklich durchgeflossene Arbeit: 20,4 Amp · 112,5 Volt · 245,6 sek = 563700 Wattsek oder 563,7 kWsek.

Der Zähler hat dabei genau 160 Umdrehungen gemacht; sein Zeigerwerk ist also (wenn man es so genau ablesen könnte) um $\frac{160}{900}$ angezeigte kWStd oder $\frac{160 \cdot 3600}{900} = 640$ angezeigte kWsek vorgeschritten.

Wirklich durchgeflossene Arbeit: 564 kWsek.

Vom Zähler angezeigte Arbeit: 640 kWsek.

Der Zähler zeigte also (bei der Belastung mit etwa 20 Amp) **zu wenig**

um 76 auf wirkliche 564 oder auf angezeigte 640,

also um $\frac{76 \cdot 100}{564}\,\% = \mathbf{13{,}5\,\%}$ des richtigen Betrages (oder „Sollwertes")

oder um $\frac{76 \cdot 100}{640}\,\% = \mathbf{11{,}9\,\%}$ des angezeigten Betrages.

Bemerkung: Bei Angabe des Fehlers darf nicht vergessen werden, sehr deutlich zu sagen, in welcher Richtung der Fehler liegt. Nicht deutlich sind Ausdrücke wie: „der Fehler beträgt + 3,8 %"; deutlich ist dagegen außer der oben gewählten Ausdrucksweise auch: „der Zähler zeigt falsch zugunsten des Stromabnehmers (oder zugunsten des Stromverkäufers) um 5,6 %". Ferner muß gesagt werden, ob bei der Prozentangabe der richtige Wert oder der vom Zähler angezeigte Wert gleich 100 % gesetzt ist. Wenngleich dies bei kleinen Fehlern nahezu auf dasselbe hinausläuft, so

macht es bei großen Fehlern einen großen Unterschied. Beispielsweise besagt „zu wenig um 50% des richtigen Wertes“ genau dasselbe wie „zu wenig um 100% des angezeigten Wertes“. Die erstere Ausdrucksweise klingt weniger schlimm und wird deswegen meistens bevorzugt; die zweite ist bequemer, wenn später an Hand des Eichberichtes die weiteren Zählerangaben auf die richtigen Werte umgerechnet werden sollen.

Endlich ist anzugeben, bei welcher Belastung (in Amp oder in $\%$ der Nennleistung) die Eichung erfolgte.

Hier würde daher etwa anzugeben sein: „bei $59{,}5\%$ der Nennleistung“ $\left(\frac{20{,}4 \cdot 112{,}5 \cdot 100}{35 \cdot 110}\% = 59{,}5\%\right)$.

Diese Angabe ist nötig, weil bei fast jedem Zähler bei verschiedenen Belastungen der prozentuale Fehler verschieden groß ist, und weil auch die durch Reichsverordnung für Elektrizitätszähler festgesetzten „Verkehrsfehlergrenzen“ und „Beglaubigungsfehlergrenzen“ bei kleiner Belastung eines Zählers (verglichen mit der Nennleistung) viel höher liegen als bei Vollast.

87. Unter der in der Aufgabe gemachten Annahme ist die Kurve mit den verbrauchten Kalorien pro PS_e-Std als Ordinate (y) und der Belastung in PS_e als Abszisse (x) eine gleichseitige Hyperbel gemäß der nicht maßstäblichen Abbildung 66.

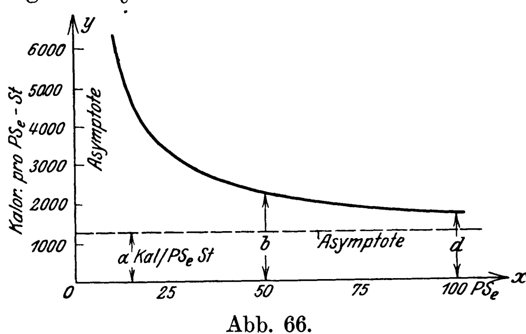


Abb. 66.

Dabei ist die Höhenlage der horizontalen Asymptote, also der Wert von a, einstweilen noch unbekannt. Bekannt ist dagegen, daß in der Originalkurve die Strecke b eine Länge von 17 mm und die Strecke d eine Länge von 13,5 mm hatte. Da bei den Ordinaten der Originalkurve 37,5 mm einen Verbrauch von 5000 Kal pro PS_e-Std bedeutete, so ergeben sich die Werte von b und d wie folgt:

$$b = \frac{5000}{37{,}5} \cdot 17 = 2270 \text{ Kalorien pro } PS_e\text{-Std};$$

$$d = \frac{5000}{37{,}5} \cdot 13{,}5 = 1800 \text{ Kalorien pro } PS_e\text{-Std}.$$

Die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel, deren Asymptoten die Koordinatenachsen sind, lautet: $x \cdot y = c$ oder $y = \frac{c}{x}$, worin c eine Konstante ist. Die Gleichung dieser, um das Stück a nach oben verschobenen Hyperbel ist daher: $y = a + \frac{c}{x}$.

Entwirft man nun, entsprechend der in der Anleitung gegebenen Anregung, eine neue Kurve, die dieselben Abszissen x hat wie die vorige, deren Ordinaten y_1 aber den Kalorienverbrauch pro Stunde (nicht pro PS_e-Std!) bezeichnen, so ist $y_1 = yx$. (Verbrauch pro Stunde gleich Verbrauch pro Pferdestunde mal Belastung in Pferdestärken.) Durch Einsetzen des Wertes von y folgt daraus für die neue Kurve die Gleichung: $y_1 = yx = \left(a + \frac{c}{x}\right) x = ax + c$. Das ist die Gleichung einer Geraden, die bei $y_1 = c$ die Y-Achse schneidet und die Neigung a hat, und die durch die nicht maßstäbliche Abbildung 76 dargestellt wird.

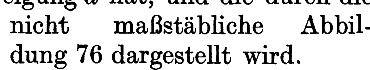


Abb. 67.

Der Verbrauch e an Kalorien in einer bestimmten Betriebsstunde mit der Belastung von N PS_e stellt sich hiernach höchst einfach dar als die Summe zweier Beträge c und f, von denen der eine (c) von der Belastung unabhängig ist und etwa der „Leerlaufsverbrauch" des betreffenden Motors pro Stunde genannt werden kann, während der andere ($f = N \cdot a$) der Belastung in PS_e direkt proportional ist und etwa der „Nutzverbrauch" pro PS_e-Std heißen mag. Der Verbrauch in einem Tage oder Jahre ist daher $\sum[t \cdot (c + N \cdot a)]$, worin t die Zahl derjenigen Stunden bedeutet, in denen die Belastung denselben Wert N hat. Schreibt man diese Formel $c \cdot \sum t + a \cdot \sum(Nt)$, so läßt sie sich einfach in Worte fassen:

„Der Gesamtverbrauch setzt sich zusammen:

a) aus dem „Leerlaufsverbrauch", der sich durch Multiplikation des stündlichen Leerlaufsverbrauches (c) mit der Anzahl aller Betriebsstunden ($\sum t$) ergibt (die Stunden des Stillstandes zählen natürlich nicht mit), und

b) aus dem „Nutzverbrauch" der sich durch Multiplikation des Nutzverbrauches pro PS_e-Std (a) mit der Gesamtzahl der geleisteten PS_e-Std [$\sum(Nt)$] ergibt."

Will man nicht mit Kalorien rechnen, sondern mit Brennstoffgewicht, so braucht man nur statt 9500 Kal je 1 kg Brennstoff zu setzen.

Diese Behandlungsweise ermöglicht in einfacher Weise die Vorausberechnung des Brennstoffverbrauches, wenn die Belastungsverhältnisse bekannt sind. Der Wert von c hängt sehr von der Größe des Dieselmotors ab und ist ihr etwa proportional, a hat dagegen für alle Dieselmotoren annähernd denselben Wert.

Im vorliegenden Falle war für die Belastung von 100 PS_e der Wert $y = d = 1800$ Kal/PS_e-Std, woraus für den zugehörigen Wert y_1 der Betrag von $100 \cdot 1800 = 180000$ Kal/Std folgt. Für die Belastung mit 50 PS_e war $y = b = 2270$ Kal/PS_eStd, also $y_1 = 50 \cdot 2270 = 113500$ Kal/Std.

Bei Umrechnung in Brennstoffgewicht ergibt sich

für 100 PS_e ein stündlicher Brennstoffverbrauch von

$$\frac{180000}{9500} = 18{,}95 \text{ kg Gasöl/Std},$$

für 50 PS_e ein stündlicher Brennstoffverbrauch von

$$\frac{113500}{9500} = 11{,}95 \text{ kg Gasöl/Std}.$$

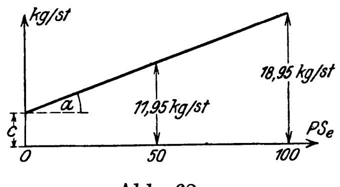


Abb. 68.

Trägt man diese beiden Werte gemäß der nicht maßstäblichen Abbildung 68 graphisch auf, so ergibt sich aus der Eigenschaft der geraden Linie, daß

$$c = 18{,}95 - \frac{(18{,}95 - 11{,}95) \cdot 100}{(100 - 50)} = 18{,}95 - 7 \cdot 2 = \mathbf{4{,}95\ kg/Std}$$

ist („Leerlaufsverbrauch").

Die Neigung a ergibt sich zu

$$\frac{18{,}95 - 11{,}95}{100 - 50} = \frac{7}{50} = \mathbf{0{,}14\ kg/PS_e\text{-}Std}$$

(„Nutzverbrauch").

Mittels dieser beiden Werte lassen sich die gestellten Fragen sofort beantworten:

Zu 1. Die Zahl der Betriebsstunden im Jahre beträgt:

$300 \cdot (5 + 4 + 4 + 5) = 300 \cdot 18 = 5400$ Betriebsstunden pro Jahr.

Der „Leerlaufsverbrauch" im Jahre ist daher $5400 \cdot 4{,}95 = 26730$ kg.

Die im Jahre geleistete Arbeit in PS_eStd beträgt:

$$300 \cdot (5 \cdot 100 + 4 \cdot 50 + 4 \cdot 25 + 5 \cdot 0)$$
$$= 300 \cdot (500 + 200 + 100) = 300 \cdot 800 = 240000 \ PS_e\text{Std}.$$

Der „Nutzverbrauch" im Jahre ist daher

$$240000 \cdot 0{,}14 = 33600 \text{ kg}.$$

Der Gesamtverbrauch im Jahre ist somit

$$26730 + 33600 = 60330 \text{ kg},$$

und die jährlichen Brennstoffkosten werden daher

$$\frac{60330}{1000} \cdot 120 \approx \mathbf{7240\ Goldmark.}$$

Zu 2. und 3. Die Brennstoffgewichte pro Stunde bei verschiedenen Belastungen ergeben sich aus dem Leerlaufsverbrauch von 4,95 kg pro Stunde und dem Nutzverbrauch von 0,14 kg pro PS_e-Std. Danach ergibt sich der stündliche Gesamtverbrauch

bei Leerlauf zu 4,95 kg,

bei 25 PS zu $4{,}95 + 25 \cdot 0{,}14 = 4{,}95 + 3{,}5 = 8{,}45$ kg;
bei 50 PS zu $4{,}95 + 50 \cdot 0{,}14 = 4{,}95 + 7{,}0 = 11{,}95$ kg;
bei 75 PS zu $4{,}95 + 75 \cdot 0{,}14 = 4{,}95 + 10{,}5 = 15{,}45$ kg;
bei 100 PS zu $4{,}95 + 100 \cdot 0{,}14 = 4{,}95 + 14{,}0 = 18{,}95$ kg.
(Voll-Last.)

Der Brennstoffverbrauch pro PS_e-Std ergibt sich aus den vorstehenden Ziffern, wenn man den Verbrauch pro Stunde durch die Belastung (das ist durch die in der Stunde geleistete Anzahl von PS_e-Std) dividiert. Er wird also:

für Leerlauf mit 0 PS_e: $\dfrac{4950 \text{ g/Std}}{0 \text{ PS}_e} = \infty \text{ g/PS}_e\text{-Std};$

für Viertellast mit 25 PS_e: $\dfrac{8450 \text{ g/Std}}{25 \text{ PS}_e} = 338 \text{ g/PS}_e\text{-Std};$

für Halblast mit 50 PS_e: $\dfrac{11950 \text{ g/Std}}{50 \text{ PS}_e} = 239 \text{ g/PS}_e\text{-Std};$

für Dreiviertellast mit 75 PS_e: $\dfrac{15450 \text{ g/Std}}{75 \text{ PS}_e} = 206 \text{ g/PS}_e\text{-Std};$

für Voll-Last mit 100 PS_e: $\dfrac{18950 \text{ g/Std}}{100 \text{ PS}_e} = 190 \text{ g/PS}_e\text{-Std}.$

Die Brennstoffkosten in Goldmark pro Stunde bzw. in Goldpfennigen pro PS_e-Std ergeben sich aus den entsprechenden Brennstoffgewichten, wenn man 1 kg = 12 Goldpfennige einsetzt. Die so entstehenden Beträge sowie die vorstehend berechneten Gewichtsmengen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Belastung		Brennstoffmenge		Brennstoffkosten	
in Bruchteilen der Voll-Last	in PS_e	pro Stunde kg	pro PS_e Std g	pro Stunde Goldmark	pro PS_e Std Goldpfg.
0	0	4,95	∞	0,59	∞
$^1/_4$	25	8,45	338	1,01	4,06
$^1/_2$	50	11,95	239	1,43	2,87
$^2/_4$	75	15,45	206	1,85	2,47
$^4/_4$	100	18,95	190	2,27	2,28

88. Zu 1. Bei Metalldrahtlampen erfordert je eine Hefnerkerze etwa 1,1 Watt (Bernoulli S. 570). Die Glühlampen brauchen daher zusammen $300 \cdot 25 \cdot 1{,}1 = \mathbf{8250\ Watt}$. Der Motor wird etwa einen Wirkungsgrad von 90 % haben (Bernoulli S. 540). Da er bei $\eta = 1$ für je 1 PS der mechanischen Leistungsabgabe eine elektrische Leistung von 736 Watt aufnehmen würde (Bernoulli S. 521), so erfordert er in Wirklichkeit $\frac{20 \cdot 736}{0{,}9} = \mathbf{16356\ Watt}$.

Eine Wechselstrom-Bogenlampe erfordert eine Spannung von etwa 30 Volt (Bernoulli S. 571). Da die Verbrauchs-Netzspannung 110 Volt beträgt, wird man daher zweckmäßig je 3 Lampen in Reihe schalten, so daß $\frac{18}{3} = 6$ solcher Reihen entstehen. Jede Reihe nimmt 8 Amp aus dem Netz, alle Bogenlampen zusammen daher $6 \cdot 8 = 48$ Amp. Sie verbrauchen demnach, da ihr Leistungsfaktor 0,95 ist, (einschließlich ihrer Vorschaltwiderstände) zusammen: $110 \cdot 48 \cdot 0{,}95 = \mathbf{5016\ Watt}$.

Der Gesamtverbrauch beträgt somit

$$8250 + 16356 + 5016 = \mathbf{29622\ Watt}.$$

Da bei Drehstrom die Leistung N (in Watt) $= e \cdot i \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3}$ ist, so folgt hier:

$$e \cdot i \cdot \sqrt{3} = \frac{N}{\cos\varphi} = \frac{29622}{0{,}85} \approx 34800 \text{ Volt-Ampere}.$$

Der Transformator ist daher zu bemessen für eine Leistung von mindestens **34,8 kVA** (Kilo-Volt-Ampere). Der Wert ist mit Rücksicht auf etwaige andere angeschlossene Apparate oder auf spätere Erweiterungen und auf die gängigen Typen der liefernden Fabrik mehr oder weniger nach oben abzurunden. (Die nächsthöhere Normalgröße ist 50 kVA.)

Zu 2. Aus $e \cdot i \cdot \sqrt{3} = 34800$ VA und $e = 110$ Volt ergibt sich die sekundäre durch die angegebenen Lampen und Motoren verursachte Belastung des Transformators in Amp zu $\frac{34800}{110 \cdot \sqrt{3}}$

$\approx$ **183 Amp.** Da bei einem nahezu voll belasteten Transformator die Phasenverschiebung ($\cos\varphi$) primär fast genau denselben Wert hat wie sekundär und die abgegebene (sekundäre) Leistung nur um wenige Prozente (hier schätzungsweise um etwa 3 %) kleiner ist als die aufgenommene (primäre) Leistung, so ergibt sich die primäre Leistung zu $\frac{29622}{0,97}$ Watt und die primäre Stromstärke (unter Berücksichtigung von $e = 2000$) zu

$$\frac{\overset{\text{(Watt)}}{29622}}{\underset{(\eta)}{0,97}\cdot\underset{\text{(Volt)}}{2000}\cdot\underset{(\cos\varphi)}{0,85}\cdot\sqrt{3}} = \frac{29622\cdot 110}{0,85\cdot 110\cdot\sqrt{3}\cdot 2000\cdot 0,97}$$

$$\approx 183\cdot\frac{110}{2000\cdot 0,97}\approx \mathbf{10,4\ Amp.}$$

89. Zu a). Der Motor leistet 200 PS oder $200\cdot 75 = 15000$ mkg/sek. Die Pumpe hat einen Wirkungsgrad von 0,79, kann also bei Antrieb durch diesen Motor $0,79\cdot 15000 = 11850$ mkg/sek leisten.

Ist Q die sekundlich geförderte Wassermenge in **cbm/sek**, h die nivellierte (oder „hydrostatische") Förderhöhe in Metern ($h = 34$ m), h_w der Druckverlust im Rohr (in Metern Wassersäule!), so würde demnach bei Vernachlässigung der Rohrreibung gelten:

$$11850 = 1000\cdot Q\cdot h = 1000\cdot Q\cdot 34;$$

$$Q = \frac{11850}{1000\cdot 34} = \mathbf{0,349\ cbm/sek.}$$

Die Stundenleistung könnte also dann $3600\cdot 0,349 = 1256,4$ cbm betragen.

Zu b). Bei Berücksichtigung der Rohrreibung gilt dagegen:

$$11850 = 1000\,Q\cdot(h + h_w).$$

Nun ist h_w von Q abhängig, und zwar gilt nach Pfarr (für Turbinenrohre) die in der Aufgabe angegebene Beziehung: $h_w = 0,0018\,L\frac{Q^2}{D^5}$, worin L die Rohrlänge in Metern und D die lichte Rohrweite in Metern bezeichnet.

Durch Einsetzen dieses Wertes für h_w, sowie der Werte für h, L und D folgt:

$$11850 = 1000\cdot Q\left(34 + \frac{0,0018\cdot 800\,Q^2}{0,3^5}\right);$$

$$\text{oder: } 11{,}85 = 34\,Q + \frac{1{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 800 \cdot Q^3}{3^5 \cdot 10^{-5}} = 34\,Q + \frac{1{,}8 \cdot 800 \cdot 10^2}{243} Q^3;$$

$$\text{oder: } \frac{11{,}85}{34} = Q + \frac{1{,}8 \cdot 800}{2{,}43 \cdot 34} Q^3; \quad 0{,}3485 = Q + 17{,}43\,Q^3;$$

$$\text{oder } Q + 17{,}43\,Q^3 - 0{,}3485 = 0.$$

Diese Gleichung ist daher nach Q aufzulösen.

Q liegt sicher zwischen 0 und dem unter a) gefundenen Wert von 0,349 cbm/sek. Wir setzen daher in die folgende Tabelle probeweise für Q zunächst etwa einmal den Wert 0,1 ein, sodann 0,2 und probieren so weiter, bis die rechte Seite wirklich nahezu Null wird.

Spalte 1	2	3	4	5	6
Probeweise eingesetzter Wert v. Q	Q^3	$17{,}43\,Q^3$	Spalte 1 und Spalte 3 zusammen:	Nach Abzug von 0,3485 von Spalte 4 bleibt:	Kritik: Der für Q eingesetzte Wert ist:
0,10	0,001	0,01743	0,11743	— 0,23107	zu klein
0,20	0,008	0,1394	0,3394	— 0,0091	ein wenig zu klein
0,21	0,0093	0,1621	0,3721	+ 0,0236	ein wenig zu groß

Damit ist Q zwischen 0,20 und 0,21 cbm/sek eingegrenzt, also auf 10 Liter/sek genau, und liegt offenbar näher am ersteren Wert. Es ist somit: $\mathbf{Q = 0{,}20}$ **cbm/sek.** Die Stundenleistung ist also $3600 \cdot 0{,}20 =$ **720 cbm/Std.**

Bemerkung: Würde noch die nächste Dezimale verlangt, so wäre sie durch Interpolation zu suchen, etwa gemäß folgender Tabelle:

	Spalte 1	Spalte 5
Werte aus der vorigen Tabelle	0,20 0,21	— 0,0091 + 0,0239
Differenz (obere Zahl von unterer abgezogen)	+ 0,01	+ 0,0330

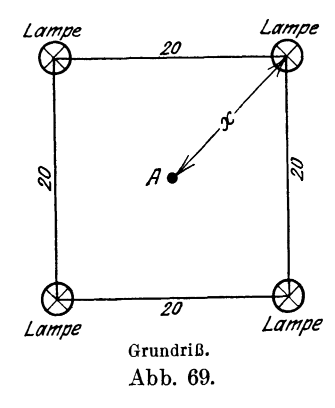
Beide Differenzen haben dasselbe Vorzeichen. Der Abweichung des ersten Wertes in Spalte 5 von Null um — 0,0091 entspricht danach eine Abweichung des ersten Wertes von Q (nämlich 0,20) vom richtigen die Gleichung genau befriedigenden Wert von Q um

$$\frac{0{,}01 \cdot (-0{,}0091)}{0{,}0330} = -0{,}01\,\frac{91}{330} = -0{,}00276.$$

Der nächstbessere Wert für Q ist daher 0,20276 cbm/sek oder 202,76 Liter/sek, der schon übermäßig genau gerechnet wäre. Er ergibt eine

Stundenleistung von $3600 \cdot 0{,}20276 = 729{,}936$ cbm. Man beachte, wie erheblich die Wassermenge (730 cbm/Std) gegenüber der unter a) bei Vernachlässigung der Rohrreibung berechneten (1256 cbm/Std) zurückbleibt.

90. Aus dem Grundriß des Platzes gemäß Abbildung 69 ergibt sich der auf dem Fußboden gemessene Abstand x der betrachteten Stelle A von dem senkrecht unter einer beliebigen Lampe liegenden Punkt (oder der „Horizontal-Abstand" von A bis zu einer Lampe) zu:

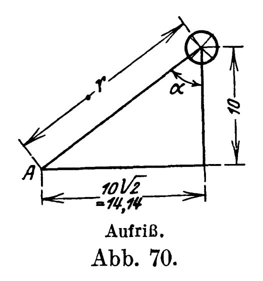


Grundriß.
Abb. 69.

$$x = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot 20 = 10\sqrt{2} = 14{,}14 \text{ m}.$$

Die Abbildung 70 ist ein Aufriß durch A und eine Lampe. Aus ihr ergibt sich die Entfernung r von A bis zu einer (beliebigen) Lampe zu:

$$r = \sqrt{(10\sqrt{2})^2 + 10^2} = \sqrt{300}$$
$$= 10\sqrt{3} = 17{,}32 \text{ m}.$$



Aufriß.
Abb. 70.

Der von der Lampe nach A gehende Lichtstrahl weicht von der Senkrechten um einen $\sphericalangle\, \alpha$ ab, der jetzt gegeben ist durch

$$\cos\alpha = \frac{10}{r} = \frac{10}{10\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$
$$= \frac{\sqrt{3}}{3} = 0{,}577,$$

woraus sich α zu etwa $54^1/_2{}^0$ ergibt.

In der Tabelle ist bei Reinkohlen für $\alpha = 50^0$ der Wert $J = 1300$ HK gegeben, für $\alpha = 60^0$ dagegen $J = 1200$ HK. Durch Interpolation ergibt sich daraus für $\alpha = 54^1/_2{}^0$ der Wert

$$J = 1300 - \frac{100}{10} \cdot 4^1/_2 = 1255 \text{ HK}.$$

Würde die zu beleuchtende Fläche bei A senkrecht zu den von der Lampe kommenden Lichtstrahlen liegen, so würde sie folglich von dieser einen Lampe eine Beleuchtung erhalten von der Größe:

$$\frac{1255}{r^2} = \frac{1255}{(\sqrt{300})^2} = \frac{1255}{300} = 4{,}18 \text{ Lux}.$$

Nun liegt aber die betrachtete Fläche (AC in der Abbildung 71) als Teil der Fußbodenfläche wagerecht und bildet mit einer senkrecht zu den Lichtstrahlen liegenden Fläche DE in ACD denselben Winkel α wie die Lichtstrahlen AL mit der Senkrechten LV (also hier $54^1/_2{}^0$). Die Projektion von AC auf DE, das ist die Fläche FC, verhält sich zur Fläche AC wie $\cos\alpha$ zu 1. Folglich ist die Beleuchtung einer horizontalen Fläche in A durch eine Lampe nur $4{,}18 \cdot \cos\alpha = 4{,}18 \cdot 0{,}577 = 2{,}41$ Lux.

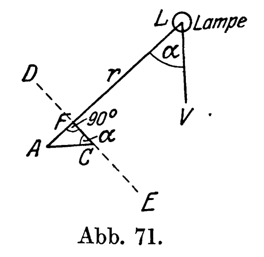


Abb. 71.

Da alle vier Lampen gleich hell sind, gleiche Lichtverteilung haben, gleich weit von A entfernt sind und die betrachtete horizontale Fläche bei A unter demselben Neigungswinkel bescheinen, so gibt jede von ihnen der Fläche diese Beleuchtung von 2,41 Lux, so daß die Gesamtbeleuchtung der Bodenfläche bei A sich zu $4 \cdot 2{,}41 = \mathbf{9{,}64}$ **Lux** ergibt.

Bei Albakohlen hat J für $\alpha = 54^1/_2$ den Wert $J = 3800 - \frac{100}{10} \cdot 4^1/_2 = 3755$ HK. Da alles übrige in der vorstehenden Berechnung unverändert bleibt, wird jetzt die Beleuchtung der Bodenfläche bei A:

$$9{,}64 \, \frac{3755}{1255} = \mathbf{28{,}8\ Lux.}$$

91. Es werde angenommen, daß die Steuerung mit äußerer Einströmung arbeitet. Im Zeunerschen Schieberdiagramm gemäß Abbildung 72 stelle OA diejenige Kurbellage dar, bei der die Expansion beginnt.

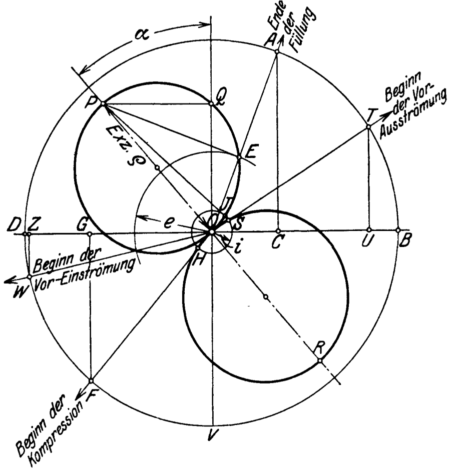


Abb. 72.

Dann soll $DC = 0{,}68\,DB$ sein, also $OC = 0{,}18\,DB = 0{,}36\,OA$.

Daraus folgt:

$$\cos AOC = \frac{OC}{OA} = 0{,}36; \quad \sphericalangle AOC = 69^0.$$

Die äußere Überdeckung ist

$$e = \frac{c-(b+a)}{2} = \frac{294-(180+30)}{2} = \frac{84}{2} = \mathbf{42\,mm.}$$

Die innere Überdeckung ist

$$i = \frac{(b-a)-d}{2} = \frac{(180-30)-128}{2} = \frac{22}{2} = \mathbf{11\,mm.}$$

Mit e ist ein Kreis um O geschlagen, der OA in E schneidet. Nehmen wir O als Koordinaten-Nullpunkt, so hat E die Koordinaten:

$$\left.\begin{aligned} x &= e \cdot \cos 69^0 = 42 \cdot 0{,}36 = +15{,}1\text{ mm} \\ y &= e \cdot \sin 69^0 = 42 \cdot 0{,}9336 = +39{,}2\text{ mm} \end{aligned}\right\} E.$$

OF stelle diejenige Kurbellage dar, bei der die Kompression beginnt. Dann soll $DG = 0{,}17 \cdot DB$ sein, also

$$OG = (0{,}5 - 0{,}17)\,DB = 0{,}33\,DB = 0{,}66\,OF.$$

Daraus folgt: $\cos GOF = \frac{OG}{OF} = 0{,}66; \ \sphericalangle\, GOF = 48{,}5^0.$

Mit i ist ein Kreis um O geschlagen, den OF in H schneidet. H hat die Koordinaten:

$$\left.\begin{aligned} x &= -i \cdot \cos 48{,}5^0 = -11 \cdot 0{,}66 = -7{,}25\text{ mm} \\ y &= -i \cdot \sin 48{,}5^0 = -11 \cdot 0{,}749 = -8{,}25\text{ mm} \end{aligned}\right\} H.$$

Der obere Schieberkreis soll durch O und E gehen, der untere (von gleichem Radius!) durch O und H. Folglich geht der obere Schieberkreis auch durch J (den Gegenpunkt von H) mit den Koordinaten:

$$\left.\begin{aligned} x &= +7{,}25\text{ mm} \\ y &= +8{,}25\text{ mm} \end{aligned}\right\} J.$$

Gesucht ist demnach der Kreis durch E, J, O.

Der Endpunkt P des Durchmessers OP dieses gesuchten Kreises liegt auf EP, der Endsenkrechten zu OE. Deren Gleichung lautet:

$$\frac{y-39{,}2}{x-15{,}1} = -\frac{15{,}1}{39{,}2}$$

oder:

$$39{,}2\,y - 39{,}2^2 = -15{,}1\,x + 15{,}1^2;$$

$$39{,}2\,y - 1535 = -15{,}1\,x + 228.$$

Ebenso liegt P auf JP, der Endsenkrechten zu OJ. Deren Gleichung lautet:

$$\frac{y-8{,}25}{x-7{,}25} = -\frac{7{,}25}{8{,}25}$$

oder: $$8{,}25\,y - 8{,}25^2 = -\,7{,}25\,x + 7{,}25^2;$$
$$8{,}25\,y - 68 \quad = -\,7{,}25\,x + 52{,}5.$$

Der Schnittpunkt P der beiden Endsenkrechten ergibt sich aus den beiden Gleichungen:

$$39{,}2\ \ y - 1535 = -\,15{,}1\,x + 228;$$
$$8{,}25\,y - 68 \quad = -\,7{,}25\,x + 52{,}5.$$

Durch Erweiterung der letzten Gleichung mit 39,2 : 8,25 folgt:

$$39{,}2\,y - 323 = -\,34{,}4\,x + 249.$$

Durch Subtraktion dieser Gleichung von der ersten ergibt sich:

$$-\,1212 = +\,19{,}3\,x - 21.$$

Daraus folgen die Koordinaten für P:

$$x = -\frac{1191}{19{,}3} = -\,61{,}6\ \text{mm};$$

$$39{,}2\,y - 323 = +\,34{,}4\cdot 61{,}6 + 249 = 2115 + 249 = 2364;$$

$$y = \frac{2687}{39{,}2} = 68{,}5\ \text{mm}.$$

Der Durchmesser OP des Schieberkreises oder die Exzentrizität ϱ ist daher:

$$\sqrt{61{,}6^2 + 68{,}5^2} = \sqrt{3790 + 4690} = \sqrt{8480} = 92\ \text{mm}.$$

Der Voreilwinkel α ist der Winkel POQ.

Für ihn gilt:

$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{PQ}{QO} = \frac{61{,}6}{68{,}5} = 0{,}898,$$

woraus folgt: $$\alpha = 42^0.$$

Um die Vorausströmung zu finden, ist der Winkel TOB zu bestimmen, der durch S (den Schnittpunkt des unteren Schieberkreises mit dem Kreise der inneren Überdeckung) festgelegt wird.

OT liegt in bezug auf OR symmetrisch zu OF.

Der $\sphericalangle DOF$ war gefunden zu $48{,}5^0$. (Dieser Winkel heiße β.) Ferner war gefunden

$$\sphericalangle VOR = \sphericalangle POQ = 42^0 = \alpha.$$

Aus der Abbildung 73 folgt:

$$\sphericalangle TOB = 2\alpha - \beta = 2\cdot 42^0 - 48{,}5^0 = 84^0 - 48{,}5^0 = 35{,}5^0.$$

Daraus: $$\frac{OU}{OT} = \frac{OU}{OB} = \cos 35{,}5^0 = 0{,}814,$$

$$\frac{UB}{OB} = 1 - 0{,}814 = 0{,}186.$$

Vorausströmung $= \frac{UB}{DB} = \frac{0{,}186}{2} = 0{,}093$ oder **9,3 %**.

Die Voreinströmung OW liegt in bezug auf POR symmetrisch zu OA. Der $\sphericalangle AOB$ war gefunden zu 69^0. Genau wie vorhin ergibt sich daraus entsprechend der Abb. 73:

$$\sphericalangle AOB = 2\alpha - \sphericalangle DOW;$$
$$69^0 = 2 \cdot 42^0 - \sphericalangle DOW;$$
$$\sphericalangle DOW = 2 \cdot 42^0 - 69^0 = 84^0 - 69^0 = 15^0.$$

Abb. 73.

Daraus folgt dann:

$$\frac{OZ}{OW} = \frac{OZ}{OD} = \cos 15^0 = 0{,}966;$$
$$\frac{ZD}{DO} = 1 - 0{,}966 = 0{,}034;$$

Voreinströmung $= \frac{ZD}{DB} = 0{,}017$ oder **1,7 %**.

92. Aus den Angaben „doppeltwirkend", „Tandem-Anordnung" und „zwei Kurbeln" ergibt sich, daß die Maschine 4 Zylinder mit zusammen 8 Verbrennungsräumen hat und im Prinzip gemäß der Abbildung 74 angeordnet ist[1]). Gemäß den Angaben haben alle 8 Räume gleichen Kolbendurchmesser D (70 cm), gleichen Kolbenstangen-Durchmesser d (22 cm), gleichen Hub s (1,1 m).

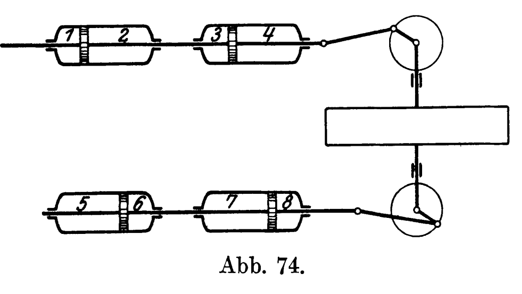


Abb. 74.

Berechnet werde zunächst für **einen** dieser 8 Verbrennungsräume die von ihm am Kolben in **2 vollen Umläufen** geleistete indizierte Arbeit A (in mkg). Auf 2 Umläufe wird sie bezogen, weil es sich um eine „Viertaktmaschine" handelt, so daß im gleichen Verbrennungsraum sich derselbe Vorgang immer erst nach je 2 vollen Umdrehungen wiederholt.

[1]) In der Abbildung sind unexakt die Kurbeln und Pleuelstangen im Aufriß gezeichnet, um die Versetzung der Kurbeln besser anzudeuten, während die Maschine im übrigen im Grundriß dargestellt ist.

Aus dem mittleren Inhalt der Indikatordiagramme von 698 qmm und ihrer Länge von 76 mm folgt ihre „mittlere Höhe“ (d. h. die Höhe eines Rechtecks von gleichem Inhalt und gleicher Länge) zu $\frac{698}{76}$ mm. Da je 1,5 mm der Diagrammhöhe einen Druck von 1 kg/cm² bedeuten, ist der „mittlere indizierte Druck“ $p_i = \frac{698}{76 \cdot 1{,}5} = 6{,}13$ kg/cm².

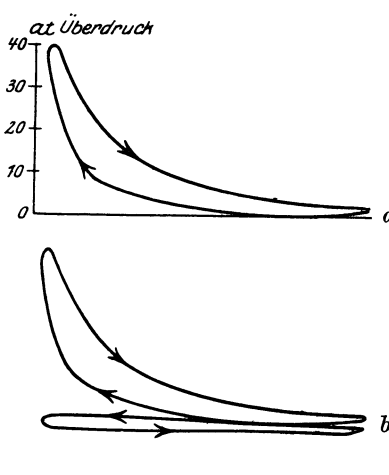
Aus p_i (in at) und der „wirksamen Kolbenfläche“ F (in cm²) ergibt sich die auf den Kolben in diesem Verbrennungsraum im Mittel während des Arbeitshubes und des Kompressionshubes wirkende arbeitsleistende Kraft P_m (in kg). Der Wert von F folgt aus dem Zylinderdurchmesser von 70 cm und dem Kolbenstangen-Durchmesser von 22 cm zu $70^2 \pi/4 - 22^2 \pi/4 = 3848 - 380 = 3468$ cm², so daß $P_m = 3468 \cdot 6{,}13$ kg $= 21\,259$ kg wird. (Man beachte die beträchtliche Größe dieser Kraft!; deswegen auch die starke Kolbenstange).

Aus P_m (in kg) und dem Hub s der Maschine (in m; hier $s = 1{,}1$ m) ergibt sich die von diesem Verbrennungsraum während des Arbeitshubes und des Kompressionshubes geleistete indizierte Arbeit zu $A = P_m \cdot s$ mkg $= 21\,259 \cdot 1{,}1 = 23\,385$ mkg.

Man beachte, daß als Diagramm-Inhalt nur der Inhalt der Fläche zwischen den Linien des Arbeitshubes und des Kompressionshubes gerechnet ist und daß dieser Inhalt zur Ermittlung von h_m und p_i nur durch die einfache Diagrammlänge dividiert ist. p_i stellt daher die mittlere Differenz zwischen dem (arbeitsleistenden) Druck des Arbeitshubes und dem (arbeitsverbrauchenden) Druck des Kompressionshubes dar, so daß die aus p_i sich ergebende Kraft P_m zur Ermittelung der von diesem Verbrennungsraum in diesen beiden Hüben geleisteten Arbeit nur noch mit dem Hube s der Maschine (nicht etwa mit $2\,s$) multipliziert werden muß!

Der Ausschubhub und der Ansaughub sind sowohl bei Ermittelung des Diagramm-Inhaltes als auch bei Berechnung von A vernachlässigt. Das ergibt keinen erheblichen Fehler; denn die in diesen Hüben von der Maschine verbrauchte (!) Arbeit ist nur klein und die zugehörigen beiden Diagrammlinien fallen miteinander (und mit der atmosphärischen Linie) so nahe zusammen, daß man sie im allgemeinen nicht unterscheiden kann (vgl. das Diagramm *a* der Abbildung 75). Genau genommen bilden sie eine sehr kleine zweite Fläche (gemäß dem übertrieben gezeichneten Diagramm *b* der Abbildung 75), die von der Haupt-

fläche zu subtrahieren wäre. Oft wird diese Fläche durch „Schwachfeder-Diagramme" gesondert ermittelt (vgl. das Diagramm c der Abbildung 75) und es wird der ihr entsprechende Arbeitsbetrag A' vom Hauptbetrage A oder der ihr entsprechende Wert p_i' vom Hauptwert p_i abgezogen.



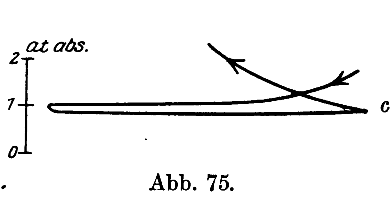


Abb. 75.

Die Arbeit von 23385 mkg wird von jedem Verbrennungsraum bei je 2 Umläufen einmal geleistet, in der Minute also $\frac{n}{2}$ mal. Hier ergibt sich n aus den Angaben der Aufgabe zu $\frac{600 \cdot 60}{336} = 107{,}1$ Umdr/min. Daraus folgt die indizierte Leistung jedes Verbrennungsraumes zu

$$\frac{23385 \cdot 107{,}1}{2 \cdot 60} \text{ mkg/sek}$$

oder

$$\frac{23385 \cdot 107{,}1}{2 \cdot 60 \cdot 75} \text{ PS} = 278{,}3 \text{ PS}$$

und die indizierte Leistung der ganzen Maschine zu

$$N_i = 8 \cdot 278{,}3 = \mathbf{2226\,PS.}$$

Aus der indizierten Leistung und $\eta_{\text{mechan.}} = 0{,}8$[1]) folgt die effektive Leistung (oder Nutzleistung, Bremsleistung) der ganzen Maschine zu

$$N_e = 0{,}8 \cdot 2226 = \mathbf{1781\,PS.}$$

93. Zu 1. In einigen Stunden des Tages ist die Belastung der Zentrale größer als die Leistungsfähigkeit der Maschine; dann muß außer der Maschine auch die Batterie Strom abgeben („Parallelbetrieb"). In anderen Stunden ist der Verbrauch kleiner als 50 kW; während eines Teiles dieser Zeit versorgt die Batterie allein das Netz („Entladeperiode", „Maschinenruhe"); während

---

[1]) $\eta_{\text{mech.}} = \frac{N_e}{N_i}$ ist hier verhältnismäßig niedrig, weil die zum Antrieb des mit dem Dieselmotor verbundenen und für seinen Betrieb notwendigen Luftkompressors erforderliche Arbeit als Verlust gerechnet wird.

eines anderen Teiles dieser Zeit arbeitet die Maschine, versorgt das Netz und lädt außerdem die Batterie wieder auf („Ladeperiode“).

Damit die Maschinenbetriebszeit möglichst kurz wird, muß die Maschine, wenn sie überhaupt arbeitet, womöglich stets voll (d. h. mit 50 kW) belastet werden.

Der Maschinen-Betrieb soll abends 10 Uhr schließen und ohne Pause verlaufen. Gefragt ist, wann er beginnen muß.

In der auf Seite 176 folgenden Tabelle sind in Spalte A von Stunde zu Stunde bestimmte Zeitpunkte des Tages angegeben. Dabei ist mit dem Zeitpunkt 10 Uhr abends eines Tages, das ist mit dem Schluß des Maschinenbetriebes, begonnen und die Tabelle ist bis 10 Uhr abends des folgenden Tages fortgesetzt. Die ersten beiden Zeilen beziehen sich daher auf Zeitpunkte des Vortages.

In Spalte B ist angegeben, wieviel kWStd die Maschine während eines vollen Tages (24 Stunden) leistet, wenn sie zu dem in Spalte A angegebenen Zeitpunkt anläuft und dann ohne Pause mit konstanter Leistung von 50 kW bis abends 10 Uhr durcharbeitet.

In Spalte F sind die Stunden zwischen je zwei Zeitpunkten der Spalte A bezeichnet und in Spalte G ist der Verbrauch in kWStd angegeben, der gemäß den Angaben der Aufgabe in der in Spalte F bezeichneten Stunde ins Netz fließt. Spalte G ist aufsummiert und ergibt einen Gesamtverbrauch des Netzes von 630 kWStd in 24 Stunden.

Wenn die Batterie auch noch so groß sein mag, so müssen doch jedenfalls, da sie keine Arbeit erzeugt, sondern sie nur aufspeichert, und da der Netzverbrauch und der Betrieb an jedem Tage verlaufen soll wie am Vortage, in 24 Stunden ebenso viele kWStd in die Batterie geladen werden, als ihrer Entladung in 24 Stunden entspricht. Da der Wirkungsgrad der Batterie 75 % beträgt, muß demnach die Ladung das $1\frac{1}{3}$fache der Entladung betragen, wenn beide Werte in kWStd ausgedrückt sind. Der Unterschied zwischen dieser geladenen und entladenen Menge, also $\frac{1}{3}$ der Entladung ist der durch die Batterie in 24 Stunden verursachte Verlust. Offenbar muß die binnen 24 Stunden von der Maschine gelieferte Arbeit (in Kilowattstunden) gleich dem Verbrauch (630 kWStd) plus dem erwähnten Batterieverlust (in Kilowattstunden) sein.

In Spalte C ist nun ermittelt, wieviel kWStd die Batterie an einem Tage ausgeben muß, wenn der Maschinenbetrieb zu dem in Spalte A angegebenen Zeitpunkt beginnt und mit konstant 50 kW bis 10 Uhr abends dauert. Die Berechnung der Ziffern

Zeitpunkt des Tages		Uhr	Wenn die Maschine im Zeitpunkt A anläuft und ohne Pause mit konstanter Leistung von 50 kW bis abends 10 Uhr durcharbeitet, so beträgt: die Maschinenarbeit in 24 Stunden: kWStd	die Entladung der Batterie in 24 Stunden: kWStd	der Verlust durch Ladung und Entladung d. Batterie in 24 Stunden: kWStd	der Verbrauch im Netz plus dem Verlust in der Batt. in 24 Std. (630 + D): kWStd
	Spalte A		B	C	D	E
des Vortages	abends	10	1200	80	27	657
		11	1150	90	30	660
	Mitternacht	12	1100	100	33	663
desselben Tages	nachts	1	1050	100	33	663
		2	1000	100	33	663
		3	950	100	33	663
		4	900	100	33	663
		5	850	110	37	667
	morgens	6	800	120	40	670
		7	750	170	57	687
		8	**[700]**	220	73	**[703]**
		9	650	240	80	710
		10	600	250	83	713
		11	550	260	87	717
	mittags	12	500	270	90	720
	nachmittags	1	450	280	93	723
		2	400	290	97	727
		3	350	320	107	737
		4	300	360	120	750
		5	250	410	137	767
	abends	6	200	460	153	783
		7	150	510	170	800
		8	100	560	187	817
		9	50	600	200	830
		10	0	630	210	840

Bezeichnung des Zeitraumes: von bis	Verbrauch im Netz im Zeitraum F: kWStd	Wenn die Maschine vormittags 8 Uhr anläuft und ohne Pause mit konstanter Leistung von 50 kW bis abends 10 Uhr durcharbeitet, so beträgt: der Überschuß des Netzverbrauches über die Leistungsfähigkeit der Maschine im Zeitraum F: kWStd	die Arbeit der Maschine im Zeitraum F: kWStd	die Ladung der Batterie im Zeitraum F: kWStd	die Entladung der Batterie im Zeitraum F: kWStd
F	G	H	J	K	L
10—11	10				10
11—12	10				10
12— 1	0				0
1— 2	0				0
2— 3	0				0
3— 4	0				0
4— 5	10				10
5— 6	10				10
6— 7	50				50
7— 8	50				50
8— 9	20		50	30	
9—10	10		50	40	
10—11	10		50	40	
11—12	10		50	40	
12— 1	10		50	40	
1— 2	10		50	40	
2— 3	30		50	20	
3— 4	40		50	10	
4— 5	60	10	50		10
5— 6	80	30	50		30
6— 7	90	40	50		40
7— 8	50		50		0
8— 9	40		50	10	
9—10	30		50	20	
Summe	630		700	290	220

(Spalte L, 10—11 bis 7—8: } 140; Spalte K, 8—9 bis 3—4: } 260; Spalte L, 4—5 bis 7—8: } 80; Spalte K, 8—9 bis 9—10: } 30)

Unterschied (Verlust) 70 kWStd.

in Spalte C erfolgt zweckmäßig von unten beginnend unter Benutzung der Spalten G und H. Die Zahlen der Spalte *H* geben an, um wieviel der Netzverbrauch (Spalte G) während der betreffenden Stunde die Leistungsfähigkeit der Maschine übersteigt. Beginnt der Maschinenbetrieb erst 10 Uhr abends, um sogleich wieder zu schließen, so muß die Batterie den gesamten Netzverbrauch des ganzen Tages von 630 kWStd liefern. (Darauf, wann und wodurch die Batterie wieder geladen wird, ist bei Spalte C keine Rücksicht genommen.) Beginnt der Betrieb um 9 Uhr abends, so braucht die Batterie nur noch den Netzverbrauch von 10 Uhr abends bis zum nächsten Abend 9 Uhr herzugeben. Diese Zahl ist daher um die in Spalte G beim Zeitraum 9—10 Uhr abends angegebenen 30 kWStd geringer als die vorige. In dieser Weise ergibt sich jede Ziffer der Spalte C aus der darunter stehenden Ziffer durch Subtraktion der zwischen beiden Ziffern in Spalte G angegebenen Zahl und Addition der Zahl in Spalte H. Die Zahl unter H muß addiert werden, weil eine Entladung von dieser Größe auch während des Maschinenbetriebes stattfindet.

In Spalte D ist $^1/_3$ des daneben stehenden Wertes der Spalte C eingetragen, das ist gemäß dem Vorstehenden derjenige durch die Batterie verursachte Verlust, der binnen 24 Stunden entsteht, wenn die Maschine vom Zeitpunkt unter A bis 10 Uhr abends mit 50 kW arbeitet.

Die Spalte E enthält die Summe von 630 kWStd plus der daneben stehenden Ziffer der Spalte D, also den Gesamtverbrauch des Netzes plus dem Batterieverlust, beides für 24 Stunden und für den Fall, daß die Maschine vom Zeitpunkt A bis 10 Uhr abends mit 50 kW arbeitet.

Gemäß dem vorhin Gesagten muß die Arbeit der Maschine (Spalte B) gleich Netzverbrauch plus Batterieverlust für 24 Stunden (Spalte E) sein. Ein Blick auf die Tabelle zeigt, daß die Ziffern der Spalte B nach unten hin abnehmen, die der Spalte E dagegen zunehmen. Zu einer bestimmten Zeit, und zwar in diesem Falle fast genau 8 Uhr morgens, sind sie gleich. Dies ist also derjenige Zeitpunkt, bei dem der Maschinenbetrieb beginnen muß, wenn die gestellten Bedingungen erfüllt werden sollen. (Wäre der zeitliche Verlauf des Verbrauches, der in Wirklichkeit natürlich stetig erfolgt, nicht nur grob [treppenförmig] von Stunde zu Stunde angegeben, sondern etwa von Minute zu Minute, so könnte der gesuchte Zeitpunkt noch genauer bestimmt werden; schätzungsweise liegt er $2^1/_2$ Minuten vor 8.)

Beginnt der Maschinenbetrieb zu diesem Zeitpunkt (8 Uhr vorm.) und wird er in der angegebenen Weise geführt, so geben

die in Spalte J enthaltenen Zahlen die Arbeit der Maschine an, die Zahlen in Spalte K die Ladung der Batterie (die sich aus dem Überschuß der Maschinenarbeit J über den Netzverbrauch G ergibt), und die Zahlen in Spalte L die Entladung der Batterie, die gleich dem Überschuß von G über K ist. Die Spalten J, K und L sind aufsummiert und ergeben für 24 Stunden eine Maschinenleistung von 700 kWStd (Spalte J), eine Entladung von 220 kWStd (Spalte L) und eine Ladung von 290 kWStd (Spalte K). Der Unterschied zwischen Spalte K und L, Ladung und Entladung, beträgt 290 — 220 = 70 kWStd und stellt den Batterieverlust dar, der fast genau $^1/_3$ der Entladung (220 kWStd) oder $^1/_4$ der Ladung (290 kWStd) ausmacht. Die Maschinenarbeit (Spalte J) mit 700 kWStd deckt diesen Verlust von 70 kWStd und den Netzverbrauch (Spalte G) von 630 kWStd (700 = 70 + 630). Diese Übereinstimmungen bilden eine Probe auf die Richtigkeit der Berechnung.

Würde der Maschinenbetrieb früher oder später als 8 Uhr morgens beginnen und im übrigen wie angegeben geführt werden, so würde die Maschinenarbeit in 24 Stunden größer oder kleiner ausfallen als der Netzverbrauch plus dem Batterieverlust. Wenn dieser Unterschied sich in mäßigen Grenzen hält und die Batterie hinreichend groß ist, kann er einige Tage lang sehr wohl stattfinden. Die Batterie ist dann nach Ablauf von 24 Stunden voller bzw. leerer als bei ihrem Beginn. Wenn dagegen der Betrieb jeden Tag gleichmäßig geführt werden soll und auch der Verbrauch an jedem Tag gleichmäßig ist, muß der berechnete Zeitpunkt eingehalten werden, weil sonst nach einigen Tagen die Batterie leer sein oder überfüllt werden würde.

Zu 2. Um die erforderliche Mindestgröße der Batterie zu bestimmen, sind in Spalte K und L die einzelnen Betriebsperioden auch einzeln aufaddiert. Die Batterie muß mindestens so viel Fassungsvermögen haben, daß sie bis zum Beginn des Maschinenbetriebes, das ist bis 8 Uhr vormittags, vorhält. Wenn wir ihre Mindestgröße bestimmen wollen, müssen wir annehmen, daß sie in diesem Zeitpunkt gerade leer ist. Gemäß Spalte K werden dann zunächst (von 8 Uhr vorm. bis 4 Uhr nachm.) 260 kWStd hineingeladen, entsprechend einer Entnahmemöglichkeit von $260 \cdot 0{,}75 = 195$ kWStd. Der Inhalt beträgt also um 4 Uhr nachm **195 kWStd.** Darauf werden ihr von 4 Uhr nachm. bis 8 Uhr nachm. 80 kWStd entnommen, so daß der Inhalt um 8 Uhr nachm. $195 - 80 =$ **115 kWStd** beträgt.

Von 8 Uhr nachm. bis 10 Uhr nachm. werden 30 kWStd geladen, entsprechend einer Entnahmemöglichkeit von $30 \cdot 0{,}75 =$ rund

22 kWStd. Der Inhalt der Batterie um 10 Uhr abends beträgt daher 115 + 22 = **137 kWStd.**

Dieser Inhalt wird während der Zeit von 10 Uhr abends bis 8 Uhr vormittags wieder entnommen. Die unerhebliche Differenz von 3 kWStd (137 gegen 140) rührt von der kleinen Ungenauigkeit bezüglich des Betriebsbeginnes und von Abrundungen bei der Berechnung her.

Aus den für den Inhalt der Batterie zu den verschiedenen Zeitpunkten angegebenen Zahlen (195, 115, 137) ergibt sich die erforderliche Mindestgröße der Batterie, da sie natürlich den größten hierbei vorkommenden Arbeitsinhalt fassen muß. Dies wird vielleicht noch klarer, wenn man statt an eine Batterie, eine Dynamomaschine, ein Leitungsnetz und Kilowattstunden an einen städtischen Wasserhochbehälter, eine Pumpe, ein städtisches Wassernetz und an Kubikmeter Wasser denkt.

Das Fassungsvermögen der Batterie muß daher mindestens **195 kWStd** betragen.

Da die Entladespannung 220 Volt beträgt, entsprechen 195000 Wattstunden einer Entladestrom-Menge von $\frac{195000}{220} = 890$ oder rund **900 Amperestunden.** Dies ist die für die Größe einer jeden Zelle der Batterie maßgebende Ziffer („Kapazität“).

Die Zahl der erforderlichen Zellen (oder „Elemente“) ergibt sich aus der Zentralenspannung von 220 Volt und der niedrigsten Spannung einer Zelle von 1,83 Volt[1]) zu $\frac{220}{1{,}83} = \mathbf{120.}$

Erforderlich ist daher eine Batterie von 120 Zellen mit einer Kapazität von mindestens 900 Amperestunden. (NB. sowohl jede Zelle als auch die ganze Batterie hat diese Kapazität von 900 Amperestunden.)

94. Gang der Rechnung: Aus Zahl, Größe und Anstrengung der Kessel ergibt sich die stündlich erzeugte Dampfmenge in kg. Daraus, aus der Dampfart und dem Wirkungsgrad der Kesselanlage folgt die gesamte Wärmemenge, die stündlich in Form von Kohlen in den Heizraum der Kessel gesteckt werden muß. Aus dieser Wärmemenge und dem Heizwert von 1 kg der verwendeten Kohle, der an Hand der chemischen Analyse nach der „Verbandsformel“ berechnet wird, ergibt sich die stündlich zu verbrennende Kohlenmenge. Aus der Analyse der Kohle läßt

---

[1]) Am Ende der Entladung (Kosack S. 222, 223. — Bernoulli S. 567. — Hütte 1923, II., S. 989. — Dubbel II., S. 783, 784. — Freytag S. 1083).

sich die zur vollständigen Verbrennung von 1 kg Kohle theoretisch gerade eben ausreichende Luftmenge in kg berechnen. Aus dieser Zahl, der stündlichen Kohlenmenge und der Angabe über den Luftüberschuß folgt das Gesamtgewicht des wirklichen stündlichen Luftbedarfes und der stündlichen Rauchgasmenge. Unter Berücksichtigung der Rauchgastemperatur im Fuchs ergibt sich dann das Gesamtvolumen der in einer Stunde durch den Fuchs strömenden Rauchgase, und daraus und aus der vorgeschriebenen Strömungsgeschwindigkeit folgt der nötige Fuchsquerschnitt. Die Berechnung der Breite aus dem Querschnitt ist dann nur noch eine einfache geometrische Aufgabe.

Ausrechnung: 3 Kessel von je 200 qm liefern, wenn jedes Quadratmeter pro Stunde 17 kg Dampf erzeugt, zusammen $3 \cdot 200 \cdot 17 =$ **10200 kg Dampf pro Stunde.**

1 kg Sattdampf von 12 at Überdruck oder einem absoluten Druck von 13 kg/cm^2 enthält gemäß den Dampftabellen (Hütte 1923, I., S. 498. — Freytag S. 479) 668,9 Wärmeeinheiten (WE oder „große Kalorien", Kal, oder „Kilokalorien", kgKal, kcal) mehr als ein kg Wasser von 0° C. Die Tabelle in Bernoulli S. 386 rechnet mit alten Atmosphären von je 1,0333 kg/cm^2, so daß die dort angegebenen Ziffern erst durch Umrechnung und Interpolation korrigiert werden müssen. 13 metrische oder neue Atmosphären sind $\frac{13}{1{,}0333} = 12{,}58$ alte Atm. Für 12,5 alte Atm gibt die Tabelle Bernoulli S. 388 eine Gesamtwärmemenge λ von 664,5 WE, für 12,75 alte Atm dagegen 664,8 WE. Durch Interpolation ergibt sich daraus für 12,58 alte Atm ein Wert für λ von

$$664{,}5 + (664{,}8 - 664{,}5)\,\frac{12{,}58 - 12{,}50}{12{,}75 - 12{,}50} = 664{,}5 + 0{,}3\,\frac{0{,}08}{0{,}25}$$
$$= 664{,}5 + 0{,}096 \approx 664{,}6.$$

Die oben angegebene Ziffer von 668,9 WE beruht auf neueren Forschungen und ist daher im folgenden zugrunde gelegt (Dubbel I., S. 397 gibt die Zahl 667,5).

Da das Speisewasser eine Temperatur von 40° C hat, also jedes kg desselben bereits 40 WE enthält, so muß jedem kg des in die Kessel eingeführten Speisewassers (dessen Gesamtgewicht gleich dem Gewicht des erzeugten Dampfes ist) eine Wärmemenge von $668{,}9 - 40 \approx$ **629 WE** zugeführt werden.

Der Heizwert der zur Erzeugung von 1 kg Dampf zu verbrennenden Kohle muß größer sein, weil ein Teil der in der Kohle steckenden Wärme verlorengeht. Bei einem Wirkungsgrad der

Kesselanlage von 0,7 ist für jedes kg Dampf eine Kohlenheizwertmenge von $\frac{629}{0,7}$ WE erforderlich.

Der Heizwert von 1 kg der Kohle läßt sich angenähert an Hand der in der Aufgabe gegebenen chemischen Analyse der Kohle berechnen. (Genauer ist die Messung mittels der kalorimetrischen Bombe.) Bezeichnet C den Gehalt der Kohle an Kohlenstoff in Gewichtsprozenten, H den an Wasserstoff, O den an Sauerstoff, N den an Stickstoff, S den an Schwefel, und W den an Wasser, so ist nach der sogenannten „Verbandsformel" (Bernoulli S. 368) der (untere) Heizwert von 1 kg Kohle in WE:

$$81\,C + 290\left(H - \frac{O+N}{8}\right) + 25\,S - 6\,W.$$

(Statt $O + N$ müßte es eigentlich nur O heißen; die Ungenauigkeit ist zugelassen, weil sie nur wenig ausmacht und weil oft bei der Analyse die Gehalte an O und N nicht getrennt, sondern nur als eine Summe bestimmt werden.) Durch Einsetzen der in der Aufgabe gegebenen Analysenziffern ergibt sich für die vorliegende Braunkohle der Heizwert von 1 kg in WE zu:

$$81 \cdot 54{,}84 + 290\left(4{,}45 - \frac{16{,}64}{8}\right) + 25 \cdot 5{,}40 - 6 \cdot 7{,}32$$
$$= 4442 + 290\,(4{,}45 - 2{,}08) + 135 - 44$$
$$= 4442 + 687 + 135 - 44 = \mathbf{5220\ WE/kg.}$$

(In zwei der anderen angezogenen Handbücher, Hütte 1923, I., S. 555, und Dubbel I., S. 571 stehen statt 81, 290, 25 und 6 die Ziffern 8100, 29000, 2500 und 600. Andrerseits stehen dort statt C, H, O, S, W die Buchstaben c, h, s, o, w. Diese bedeuten den Gehalt von 1 kg Kohle an Kohlenstoff, Wasserstoff usw. in kg, nicht in $^0/_0$, sind also 100mal kleiner als C, H, O, S, W. Für diese Kohle wäre z. B. in die Formel nach der Hütte einzusetzen $c = 0{,}5484$. Infolgedessen stimmen diese Formeln mit der bei Bernoulli angegebenen überein, nur daß bei ihnen der Stickstoffgehalt fehlt. Bei Freytag S. 631 lautet die Formel wie in der Hütte; sie benutzt große Buchstaben, die aber dieselbe Bedeutung haben wie in der Hütte die kleinen.)

Da, wie vorhin berechnet, zur Erzeugung von je 1 kg Dampf eine Kohlenheizwertmenge von $\frac{629}{0,7}$ WE erforderlich war, so erfordert jedes kg Dampf somit $\frac{629}{0{,}7 \cdot 5220} = \mathbf{0{,}172\ kg\ Kohle.}$

Mit je 1 kg Kohle werden daher $\frac{1}{0{,}172} = 5{,}81$ kg Dampf erzeugt.

Der stündliche Kohlenbedarf zur Erzeugung der 10200 kg Dampf beträgt daher $0{,}172 \cdot 10200 =$ **1754 kg Kohle/Std.**

Die theoretisch zur Verbrennung von 1 kg Kohle gerade eben ausreichende Luftmenge in kg ergibt sich aus der chemischen Analyse der Kohle und den chemischen Formeln für die Verbindung der verschiedenen brennbaren Bestandteile mit dem Sauerstoff. Bezeichnet wieder C den Gehalt der Kohle an Kohlenstoff in Gewichtsprozenten, H den an Wasserstoff und O den an Sauerstoff, so ist der theoretische Luftbedarf in kg für 1 kg Kohle gemäß Bernoulli S. 368:

$$\left(\frac{8}{3} C + 8\,H - O\right) \frac{1}{23}\,\text{kg}^{1)}.$$

Die Hütte 1923, I., S. 556 gibt den Luftbedarf nicht in kg, sondern in cbm von 0^0 und 760 mm Quecksilbersäule an zu $8{,}9\left[c + 3\left(h - \frac{o}{8}\right)\right]$ cbm. Da 1 cbm Luft von 0^0 und 760 mm Quecksilbersäule ein Gewicht von 1,293 kg hat, läßt sich die letztere Formel auch schreiben:

$$1{,}293 \cdot 8{,}9 \cdot \frac{3}{8}\left(\frac{8}{3}\,c + 8\,h - o\right)\text{kg} = 4{,}32\left(\frac{8}{3}\,c + 8\,h - o\right)$$

$$\approx \frac{100}{23}\left(\frac{8}{3}\,c + 8\,h - o\right)\text{kg}.$$

Nun versteht die Hütte, wie schon vorhin bei der Verbandsformel ausgeführt wurde, unter c, h, o Werte, die 100mal kleiner sind als die Größen C, H, O bei Bernoulli. Somit deckt sich die von der Hütte gegebene Formel mit der bei Bernoulli. Dubbel I., S. 561 gibt mit der Bedeutung von c, h, o wie bei der Hütte die Formel $4{,}31\ (2{,}67\,c + 8\,h - o + s)$ kg Luft, die also auch den Schwefel berücksichtigt und sich im übrigen mit einer der zuletzt entwickelten Formeln deckt. Ebenfalls stimmt damit die bei Freytag S. 632 angegebene Formel: $(8/3\,C + 8\,H + S - O) : 0{,}23$ kg, wenn man beachtet, daß, wie schon vorhin bemerkt, hier die großen Buchstaben nicht dieselbe Bedeutung haben wie bei Bernoulli, sondern vielmehr dasselbe bedeuten wie bei Hütte und Dubbel die kleinen Buchstaben.

Bei der hier vorliegenden Kohlensorte beträgt danach der theoretische Mindest-Luftbedarf für je 1 kg Kohle:

$$\left(\frac{8}{3} \cdot 54{,}84 + 8 \cdot 4{,}45 - 16{,}64\right)\frac{1}{23}\,\text{kg},$$

---

[1]) $\frac{100}{23}$ ist ein Druckfehler.

wobei freilich etwas ungenau der ganze für $O + N$ zutreffende Wert von 16,64 für O allein eingesetzt wurde, weil bei der Analyse der Gehalt an O und N nicht einzeln, sondern nur gemeinsam festgestellt ist. Die Ausrechnung ergibt etwa $(146 + 36 - 17)\frac{1}{23} = \frac{165}{23} \approx 7{,}2$ kg Luft pro kg Kohle. Der wirkliche Luftbedarf beträgt gemäß der Bemerkung in der Aufgabe das 1,6fache davon, das ist $1{,}6 \cdot 7{,}2 = 11{,}5$ kg Luft pro kg Kohle.

Die 11,5 kg Luft ergeben zusammen mit dem 1 kg Kohle 12,5 kg Rauchgase. Die gesamte aus den stündlich verfeuerten 1754 kg Kohle entstehende Rauchgasmenge beträgt daher $1754 \cdot 12{,}5 =$ **21925 kg/Std.**

Das spezifische Gewicht der Rauchgase kann, da sie ebenso wie die Luft zum weitaus größten Teil aus Stickstoff bestehen, mit großer Annäherung gleich dem der Luft gesetzt werden, also gleich 1,293 kg/cbm bei 0^0 und 760 mm Quecksilbersäule. Der genannte Druck (760 mm Quecksilbersäule) stimmt etwa mit dem im Fuchs herrschenden überein, da der Unterdruck im Fuchs nur etwa 20 bis 30 mm Wassersäule beträgt; wegen der höheren Temperatur der Rauchgase im Fuchs von 320^0 C (statt 0^0) ist jedoch das Gewicht von 1 cbm der Rauchgase von dem im Fuchs herrschenden Zustand nur

$$\frac{1{,}293 \cdot 273}{273 + 320}\,\text{kg} = \frac{1{,}293 \cdot 273}{593} = \mathbf{0{,}595\ kg/cbm.}$$

Die gesamte in einer Stunde durch den Fuchs strömende Rauchgasmenge hat daher ein Volumen von $\frac{21925}{0{,}595} =$ **37000 cbm/Std**, so daß in jeder Sekunde durch jedes Fuchsprofil $\frac{37000}{3600} = 10{,}3$ cbm/sek Rauchgase strömen. Wenn hierbei, wie in der Aufgabe vorgeschrieben ist, die Strömungsgeschwindigkeit 4 m/sek betragen soll, so muß der Fuchsquerschnitt $\frac{10{,}3\ \text{cbm/sek}}{4\ \text{m/sek}} =$ **2,58** m² sein.

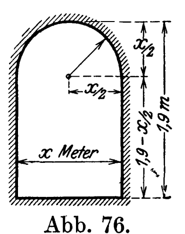


Abb. 76.

Aus der vorgeschriebenen Profilform gemäß der Abbildung 76 und dem soeben berechneten Flächeninhalt des Profils ergibt sich die Beziehung:

$$x \cdot \left(1{,}9 - \frac{x}{2}\right) + \frac{1}{2} \cdot x^2 \cdot \pi/4 = 2{,}58.$$

Daraus folgt:

$$1{,}9\,x - 0{,}5\,x^2 + 0{,}39\,x^2 = 2{,}58;$$

$$-\,0{,}11\,x^2 + 1{,}9\,x = 2{,}58; \qquad x^2 - 17{,}3\,x = -\,23{,}5;$$

$$x = 8{,}65 \pm \sqrt{74{,}8 - 23{,}5} = 8{,}65 \pm \sqrt{51{,}3} = 8{,}65 \pm 7{,}16;$$

$$x_1 = 8{,}65 + 7{,}16 = 15{,}81 \text{ m},$$

$$x_2 = 8{,}65 - 7{,}16 = 1{,}49 \text{ m}.$$

Der Wert $x_1 = 15{,}81$ m kommt nicht in Betracht, weil er eine viel größere Höhe als 1,9 m (wie vorgeschrieben) ergeben würde, nämlich mindestens 7,905 m. Anwendbar ist allein der zweite Wert, also eine lichte Fuchsweite von rund **1,50 Meter.**

95. (NB. Die Feder 0 ist entfernt!)

Am Haken der Federwage *s* wirkte bei der Messung angeblich ein Zug von 7,8 kg. Gemäß der Eichungstabelle beträgt die Korrektur der Federwage bei diesem Ausschlag etwa — 0,6 kg, so daß sich der wirkliche Zug an ihrem Haken zu 7,8 — 0,6 = 7,2 kg ergibt. Am Haken *q* zog daher, da die Kette *r* ein Gewicht von 0,075 kg hatte, eine Kraft von 7,2 — 0,075 = 7,125 kg aufwärts. Abwärts wirkt, auf denselben Punkt bezogen, das Eigengewicht des Hebels *k* mit einer Kraft von 528 — 10 = 518 g. Der überschüssige Zug aufwärts beträgt daher 7,125 — 0,518 = 6,607 kg. Er drückt die Schneide *l* gegen die Mutter *h* aufwärts mit

$$6{,}607 \cdot \frac{686{,}5}{29{,}5} = 153{,}75 \text{ kg}.$$

Da der Bolzen *g* nebst Mutter 8,27 kg wiegt, die von *g* zu tragende linke Hälfte des unteren Bremsbackens *c* 9,68 kg, beides zusammen also 17,95 kg, so wird der Bremsbacken *c* durch den Bolzen *g* noch mit einer Kraft von 153,75 — 17,95 = 135,80 kg aufwärts gegen die Bremsscheibe angepreßt. Aus Symmetriegründen preßt Bolzen *d* die rechte Hälfte des unteren Backens *c* mit derselben Kraft von 135,80 kg aufwärts gegen die Bremsscheibe, so daß sich der gesamte Anpressungsdruck *P* von *c* zu 271,6 kg ergibt.

Der Auflagedruck *P'* des oberen Bremsbackens *b* gegen die Bremsscheibe folgt daraus, daß die Gesamtsumme aller auf den Bremszaum wirkenden lotrechten Kräfte gleich Null sein muß.

Abwärts wirken auf den Bremszaum:

1. sein Eigengewicht einschließlich Bolzen *g* und *d* und Bremsbacken *c*, also 35,19 + 2·8,27 + 19,36 = 71,09 kg;
2. die Gewichte am Haken *p* mit 35,00 kg;

3. der Anpressungsdruck P zwischen Bremsscheibe und unterem Bremsbacken c mit 271,6 kg.

Aufwärts wirken auf den Bremszaum:

1. der Zug am Haken q (7,125 kg);
2. der Anpressungsdruck P' zwischen Bremsscheibe und oberem Bremsbacken.

Daraus folgt also:

$$71{,}09 + 35{,}00 + 271{,}6 = 7{,}125 + P';$$
$$P' = 377{,}69 - 7{,}125 = 370{,}56 \text{ kg}.$$

Ist μ die Reibungsziffer zwischen Bremsscheibe und Bremsbacken, so ergibt sich die Reibungskraft am Bremsscheibenumfang zu $\mu \cdot (P' + P) = 642{,}2 \cdot \mu$ kg, und ihr Drehmoment zu $0{,}395 \cdot 642{,}2 \cdot \mu$ mkg $= 253{,}7 \cdot \mu$ mkg, rechts drehend (↻). Ebenfalls rechtsdrehend wirkt die Kraft am Haken q von 7,125 kg mit dem Hebelarm 1,1605 m, also dem Drehmoment

$$7{,}125 \cdot 1{,}1605 = 8{,}269 \text{ mkg}.$$

Die Gewichte am Haken p (35 kg) mit dem Hebelarm 2,00 m wirken dagegen mit 70,00 mkg links drehend (↺). Endlich dreht links das unsymmetrische Eigengewicht der Bremse, und zwar gemäß den Ausführungen am Anfang der Lösung von Aufgabe Nr. 82 mit einem Drehmoment von 11,10 mkg.

Aus der Gleichsetzung aller rechtsdrehenden Momente mit den linksdrehenden ergibt sich:

$$253{,}7\,\mu + 8{,}3 = 70{,}0 + 11{,}1,$$

woraus dann folgt:

$$253{,}7\,\mu = 70{,}0 + 11{,}1 - 8{,}3 = 72{,}8;$$
$$\mu = \frac{72{,}8}{253{,}7} = 0{,}287.$$

Bemerkung: Sehr genau wird diese Berechnung freilich nicht sein, schon weil der Hebelarm von 29,5 mm zwischen den Schneiden i und l nur ungenau gemessen werden konnte, und weil in Wirklichkeit die Bremsbacken auch seitlich an der Bremsscheibe anliegen, so daß ihre Reibung auch Vertikalkräfte auf den Bremszaum ergibt.

96. Aus den gemessenen Werten 113,8 Volt und 0,733 Amp ergibt sich der Widerstand der kalten Spule (bei 20° C) zu $\frac{113{,}8}{0{,}733} = 155{,}5\ \Omega$. Bei 70° C ist er um $50 \cdot 0{,}4\,\% = 20\,\%$ größer, also gleich $1{,}2 \cdot 155{,}5 = 186{,}5\ \Omega$. Bei kurzgeschlossenem Vorschaltwiderstand und einer Spannung von 220 Volt ergibt sich daher eine Stromstärke von $\frac{220}{186{,}5} = 1{,}18$ Amp. Diese soll auf

die Hälfte, also auf 0,59 Amp herunter reguliert werden, und zwar in 20 absolut gleichen Sprüngen, von denen danach jeder $\frac{0,59}{20} = 0,0295$ Amp beträgt.

Rechnerische Lösung.

Die Widerstandswerte für die erforderlichen 20 Widerstandsstufen ergeben sich daher aus der folgenden Tabelle:

Spalte	1	2	3	4	5	6	7
Zeile	Kurbel d. Regul.-Widerstandes steht auf Kontakt Nr.	Eingeschaltet sind vom Regul.-Wid. die Stufen bis einschließl. Nr.	Verlangte Stromstärke[1] Amp.	Dazu erforderlicher Gesamtwiderstand Ω	Daher eingeschalteter Widerstand des Reglers Ω	Widerstand der zuletzt zugeschalteten Stufe Ω	Diese Stufe liegt zwischen den Kontakten Nr.
1	1	—	1,1800	186,5	—	—	—
2	2	1	1,1505	191,2	4,7	4,7	1 und 2
3	3	2	1,1210	196,3	9,8	5,1	2 „ 3
4	4	3	1,0915	201,6	15,1	5,3	3 „ 4
5	5	4	1,0620	207,2	20,7	5,6	4 „ 5
6	6	5	1,0325	213,1	26,6	5,9	5 „ 6
7	7	6	1,0030	219,3	32,8	6,2	6 „ 7
8	8	7	0,9735	226,0	39,5	6,7	7 „ 8
9	9	8	0,9440	233,1	46,6	7,1	8 „ 9
10	10	9	0,9145	240,6	54,1	7,5	9 „ 10
11	11	10	0,8850	248,6	62,1	8,0	10 „ 11
12	12	11	0,8555	257,2	70,7	8,6	11 „ 12
13	13	12	0,8260	266,3	79,8	9,1	12 „ 13
14	14	13	0,7965	276,2	89,7	9,9	13 „ 14
15	15	14	0,7670	286,8	100,3	10,6	14 „ 15
16	16	15	0,7375	298,3	111,8	11,5	15 „ 16
17	17	16	0,7080	310,7	124,2	12,4	16 „ 17
18	18	17	0,6785	324,2	137,7	13,5	17 „ 18
19	19	18	0,6490	339,0	152,5	14,8	18 „ 19
20	20	19	0,6195	355,1	168,6	16,1	19 „ 20
21	21	20	0,5900	372,9	186,4	17,8	20 „ 21
					Zusammen:	186,4	

[1]) Die Ziffern der Spalte 3 ergeben sich dadurch, daß der Strom jedesmal um 0,0295 Amp sinken soll. Die Widerstandswerte in Spalte 4 (Spule und eingeschaltete Reglerstufen zusammen) ergeben sich aus der Division der Spannung von 220 Volt durch den in Spalte 3 angegebenen Strom. Spalte 5 folgt aus Spalte 4 durch Abzug des Widerstandes der Spule (186,5 Ω). Spalte 6 ergibt sich als die Differenz der jeweils letzten beiden Werte in Spalte 5 und enthält die gesuchten Angaben. Erforderlich sind 20 Widerstandsstufen und 21 Kontakte.

Graphische Lösung (vgl. die zugehörige Zeichnung, Abbildung 77).

Nachdem der Widerstand der Spule zu 186,5 Ω und der Strom ohne Vorschaltwiderstand zu 1,18 Amp berechnet ist, wird auf Koordinatenpapier nach einem passenden Maßstab (etwa: 1 Amp

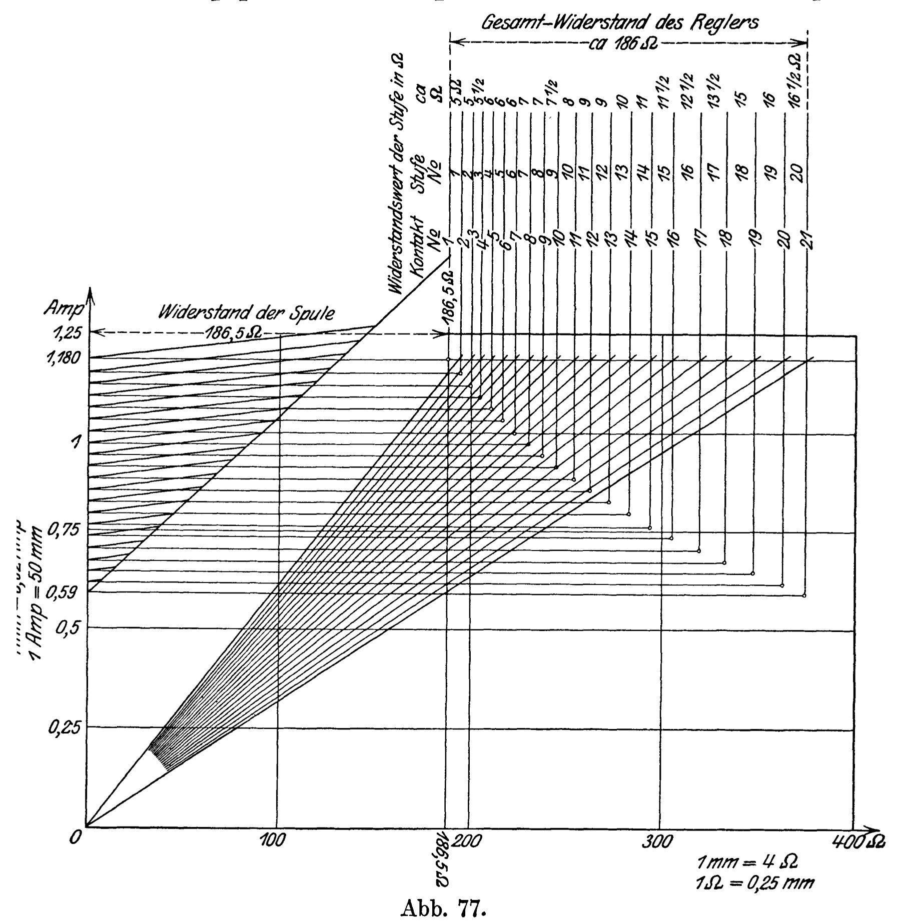


Abb. 77.

= 100 mm; 1 Ω = $^1/_2$ mm) der Punkt: 186,5 Ω, 1,18 Amp eingetragen (etwa Amp nach oben, Ohm nach rechts).

Auf der Koordinatenachse für Amp wird der Punkt 1,180 Amp (der Höchstwert des Stromes) und die Hälfte davon, 0,59 Amp (die verlangte untere Grenze für die Regulierung) markiert. Durch einen dieser Punkte (etwa durch 0,59 Amp) wird eine beliebige

nicht senkrechte Linie gezogen (etwa schräg aufwärts unter ca. 45°). Auf dieser Linie werden von jenem Punkte aus 20 gleiche, im übrigen beliebig große Strecken (etwa je 5 mm) abgetragen. Der Endpunkt der zwanzigsten Strecke wird mit dem anderen Punkt auf der Ampere-Achse verbunden (hier mit dem Punkt 1,180 Amp). Zu dieser Verbindungslinie werden durch die Endpunkte der anderen 19 Strecken Parallelen gezogen. Dadurch wird die Strecke zwischen Punkt 0,59 Amp und 1,18 Amp in 20 gleiche Teile geteilt.

Durch die gefundenen Teilpunkte und durch die beiden Endpunkte werden horizontale Linien gezogen, durch den Punkt 186,5 Ω, 1,180 Amp eine senkrechte Linie. Durch die Schnittpunkte dieser Vertikalen mit den Horizontalen wird je ein vom Koordinaten-Anfangspunkt ausgehender Strahl gezogen.

Die Schnittpunkte dieser Strahlen mit der Horizontalen durch 1,180 Amp ergeben die Widerstandswerte der einzelnen Reglerstufen und den Gesamtwiderstand des Reglers.

Die Kontaktnummern, die Stufennummern und die Widerstandswerte der einzelnen Stufen sind in der Zeichnung beigeschrieben.

Die durch einen kleinen Kreis markierten Punkte auf den zu den einzelnen Kontakten gehörenden Senkrechten geben an, wie groß der Strom wird, wenn die Kurbel auf dem betreffenden Kontakt steht. Die Punkte liegen auf einer gleichseitigen Hyperbel, deren Asymptoten die beiden Koordinatenachsen sind.

Die graphische Lösung beruht auf der bekannten Hyperbelkonstruktion. Die Konstruktion ist genau dieselbe wie für eine Isotherme oder für die Kompressions- oder Expansionslinie eines Dampfmaschinen-Diagramms. Dem unveränderlichen Widerstand der Spule (186,5 Ω) entspricht dort der schädliche Raum, den man kennen muß, um den Strahlenmittelpunkt zu bestimmen.

97. Die Anlage arbeitet nach dem Schema der Abbildung 78. Im stationären Zustande müssen dem Kondensator pro Stunde ebenso viele Wärmeeinheiten (WE oder Kal) abgeführt werden, wie ihm zufließen. Zugeführt wird ihm Wärme durch den Abdampf der Turbine und durch das bei *c* eintretende Kühlwasser. Abgeführt wird Wärme mit dem bei *a* ablaufenden Kühlwasser und mit dem bei *b* austretenden Kondensat. Durch Ausdrücken dieser vier Wärmemengen in gegebenen oder unbekannten Größen (unbekannt ist hier nur die stündliche Kühlwassermenge) ergibt sich eine Gleichung, aus der die Unbekannte bestimmt werden kann.

Aus der Kühlwassermenge pro Stunde, der Hubhöhe und den Verlusten folgt dann der Leistungsbedarf der Pumpen und ihrer Antriebsmotoren.

Zur Bestimmung des Wärme-Inhaltes des Turbinenabdampfes ist zunächst der Wärme-Inhalt von 1 kg des Dampfes von dem Zustand zu bestimmen, in dem er sich im Kondensator befindet.

So ergibt sich der folgende Rechnungsgang:

Im Kondensator herrscht ein Vakuum von 94 % oder ein absoluter Druck von 0,06 at, also, da der Dampf hier gesättigt ist, eine Dampftemperatur von 36° C (Bernoulli S. 384. — Hütte 1923, I., S. 499. — Dubbel I., S. 397. — Freytag S. 479).

Der Dampfverbrauch in der Stunde ist bei voller Belastung:

$6 \cdot 5000 = 30000$ kg/Std.

Der Wärme-Inhalt von je 1 kg des in den Kondensator eintretenden Dampfes kann etwa berechnet werden aus der Regnauldschen Formel (Bernoulli S. 382. — Dubbel I., S. 398. — Freytag S. 476):

$\lambda = 606{,}5 + 0{,}305t = 606{,}5 + 0{,}305 \cdot 36 = 606{,}5 + 11 = 617{,}5$ WE/kg.

Die Tabelle Bernoulli S. 386 geht nur herab bis 0,1 at absolut, $t = 46{,}2$ °C und $\lambda = 620{,}6$ Kal/kg. Andere Handbücher geben etwas abweichende Angaben, z. B. Hütte 1923, I., S. 499 gibt 611,6 WE; ebenso

Abb. 78.

Dubbel I., S. 397 und Freytag S. 479. Für diese Berechnung haben diese kleinen Abweichungen keine Bedeutung. Eingesetzt sind hier 612 WE. (Wegen der Nässe des Dampfes ist diese Zahl noch reichlich hoch, die Rechnung also vorsichtig.)

Die gesamte stündlich mit dem Dampf dem Kondensator zugeführte Wärmemenge beträgt danach $612 \cdot 30000 = 18360000$ oder rund 18400000 Kal/Std.

Die Temperatur des Kondensates bei *b* ist sicher höher als die Kühlwasser-Eintrittstemperatur bei *c* (18° C), und niedriger (bei guten Kondensatoren erheblich) als die Dampftemperatur (36° C). Nimmt man sie zu 30° C an (Abweichungen beeinflussen das Ergebnis nur wenig), so führen die 30000 kg Kondensat stündlich aus dem Kondensator $30000 \cdot 30 = 900000$ Kal ab.

Die Ablauftemperatur des Kühlwassers bei *a* liegt gemäß der Angabe 8° C niedriger als die Dampftemperatur, beträgt also $36 - 8 = 28°$ C.

Da das Kühlwasser bei *c* mit 18° C ein- und bei *a* mit 28° C austritt, so führt jedes kg Kühlwasser dem Kondensator $28 - 18 = 10$ WE mehr ab als zu.

Da von den durch den Dampf zugeführten 18400000 WE das Kondensat nur 900000 abführt, muß das Kühlwasser die übrigen 17500000 WE übernehmen, wozu gemäß dem Vorstehenden $\frac{17500000}{10} = 1750000$ kg (oder Liter) oder 1750 cbm Kühlwasser pro Stunde erforderlich sind. (Das ist das $\frac{17500000}{30000}$ fache oder rund das 60fache des stündlichen Dampfgewichtes, ein für Oberflächen-Kondensatoren mit gutem Vakuum übliches Verhältnis.) (Vgl. Bernoulli S. 445, 446. — Hütte 1923, II., S. 231. — Dubbel II., S. 343. — Freytag S. 567.)

Diese Menge ist zu heben um $6{,}5 + 1{,}7 = 8{,}3$ Meter (statische Hubhöhe plus Reibungsverlust im Rohr). Die effektive (manometrische) Leistung der Pumpen beträgt also $\frac{17500000 \cdot 8{,}3}{3600 \cdot 75}$ PS $= 53{,}8$ PS. Bei einem Pumpenwirkungsgrad von 75 % ist dann die für den Antrieb der Pumpen nötige und von den Elektromotoren herzugebende Leistung $\frac{53{,}8}{0{,}75} = 71{,}7$ PS. (Bernoulli S. 323, 336. — Hütte 1923, II., S. 672, 678. — Dubbel II., S. 197. — Freytag S. 946, 981.) Dafür brauchen die Motoren bei einem Motorwirkungsgrad von 91 % eine zugeführte (an den Motorklemmen gemessene) elektrische Leistung von $\frac{71{,}7 \cdot 0{,}736}{0{,}91} = 58{,}0$ kW, der

bei einem Wirkungsgrad der Stromzuleitung der Motoren von 93 % (der Leitungsverlust war gegeben zu 7 %) eine an der Schalttafel gemessene (in die Motorleitungen zu steckende) Leistung von $\frac{58,0}{0,93} = \mathbf{62,4\ kW}$ entspricht. (Kosack S. 17, 119. — Bernoulli S. 521, 540. — Dubbel II., S. 741. — Hütte 1923, II., S. 992, 966. — Freytag S. 1098.)

Dies sind etwa 1,2 % der gesamten Zentralenleistung. Man beachte, daß zur Ermittelung des Höchstbedarfes der Pumpen mit der höchsten Belastung der Turbine, der höchsten Temperatur des Flußwassers und dem tiefsten Flußwasserspiegel gerechnet werden muß.

98. Bei symmetrischem und in allen drei Phasen gleich belastetem Drehstrom ist die Leistung $N = e \cdot i \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi$ Watt, wenn e die Spannung zwischen zwei Phasen in Volt, i die Stromstärke in einer Phase in Amp und φ die Phasenverschiebung bedeutet. Bei reiner Glühlampenbelastung, wie sie hier vorliegt, ist nahezu $\varphi = 0$, $\cos\varphi = 1$. Es genügt daher, e und i zu bestimmen.

Im Amperemeter und daher auch in der Sekundärspule des Stromwandlers fließt ein Strom von 3,8 Amp. Die Aufschrift des Stromwandlers „100/5 Amp“ besagt erstens, daß er primär bis zu 100 Amp vertragen kann, ohne übermäßig warm zu werden oder falsche Meßergebnisse zu verursachen — und zweitens, daß, wenn der Strom primär genau 100 Amp beträgt, in dem (etwa durch ein Amperemeter) kurzgeschlossenen Sekundärkreise ein Strom von genau 5 Amp fließt. Aus dem letzteren folgt auch, daß bei jeder anderen unter 100 Amp liegenden Primärstromstärke die beiden Ströme (der primäre und der sekundäre) sich verhalten wie 100:5. Im vorliegenden Falle ist daher der Primärstrom, und das ist zugleich der Strom in einer Phasenleitung, $i = 3,8 \cdot \frac{100}{5} = 76$ Amp.

Daß das Amperemeter nicht für maximal 5 Amp (wie die Sekundärspule des Stromwandlers) bemessen ist, hat auf die Messung weiter keinen Einfluß. Zweckmäßiger wäre es freilich, ein Instrument zu verwenden, dessen Zeiger bei 5 Amp das Ende der Skala erreicht, weil dann sowohl Stromwandler als Stromzeiger voll ausgenutzt werden können.

Das Voltmeter zeigt eine Spannung von 101 Volt. Dies ist also die sekundäre Klemmenspannung des Spannungswandlers. Dessen Aufschrift „400/110 Volt“ besagt erstens, daß an die

Primärklemmen höchstens eine Wechselspannung von 400 Volt gelegt werden darf, und zweitens, daß, wenn zwischen den Primärklemmen genau 400 Volt herrschen, an den Sekundärklemmen genau 110 Volt erzeugt werden. Daraus folgt auch, daß bei Primärspannungen unter 400 Volt die beiden Spannungen (primäre und sekundäre) sich zueinander verhalten wie 400:110. Im vorliegenden Falle ist daher die Primärspannung des Wandlers, und damit die Spannung zwischen zwei Phasen des Drehstromnetzes, $e = 101 \cdot \frac{400}{110} = 368$ Volt.

Daß das Voltmeter nicht (wie die Sekundärseite des Spannungswandlers) für maximal 110 Volt gebaut ist, stört die Messung nicht, obwohl es aus denselben Gründen wie beim Amperemeter zweckmäßiger gewesen wäre.

Aus e und i folgt die aus dem Netz in die Beleuchtungsanlage fließende Leistung $N = ei\sqrt{3} = 368 \cdot 76 \cdot \sqrt{3} = 48500$ Watt oder **48,5 kW.**

99. Zu 1. Für den Druckabfall $\Delta p'$ in einer Dampfrohrleitung gibt Bernoulli S. 376 die folgende Formel:

$$\Delta p' = 0{,}000000105 \cdot \sigma \cdot \frac{l}{d} \cdot v^2 \text{ at},$$

worin σ das spezifische Gewicht des Dampfes in kg/cbm bedeutet, l die Länge der Rohrleitung in Metern, d den lichten Durchmesser der Rohrleitung in Metern, v die Dampfgeschwindigkeit in m/sek.

Die Hütte 1923, I., S. 537 gibt die Formel:

$$P_1 - P_2 = \frac{\beta w^2}{D} \gamma l;$$

darin ist $P_1 - P_2$ der Druckabfall in kg/m² (vgl. S. 527), β ein empirischer Koeffizient, für den auf S. 536 und 537 Formeln und Tabellen gegeben sind, w die Dampfgeschwindigkeit in m/sek (vgl. S. 527), D der lichte Rohrdurchmesser in mm (vgl. S. 535), γ das spezifische Gewicht des Dampfes in kg/cbm (S. 527), und l die Rohrlänge in m (S. 535). Der Vergleich mit den Bezeichnungen bei Bernoulli ergibt daher:

$$P_1 - P_2 = 10^4 \cdot \Delta p'; \; w = v; \; D = 10^3 \cdot d; \; \gamma = \sigma; \; l_{\text{Hütte}} = l_{\text{Bernoulli}}.$$

Für den Koeffizienten β ergibt sich gemäß der obenstehenden Formel die Beziehung

$$\beta = \frac{(P_1 - P_2) \cdot D}{w^2 \cdot \gamma \cdot l} = \frac{10^4 \cdot \Delta p' \cdot 10^3 \cdot d}{v^2 \cdot \sigma \cdot l}.$$

Nach der Formel bei Bernoulli ist $\frac{\Delta p' \cdot d}{v^2 \cdot \sigma \cdot l} = 0{,}000\,000\,105$.
Die beiden Formeln decken sich daher, wenn $\beta = 10^7 \cdot 0{,}000\,000\,105 = 1{,}05$ ist. Das ist in der Tat ein mittlerer Wert der auf S. 537 der Hütte angegebenen Tabelle.

Dubbel II., S. 359 gibt mit anderen Buchstaben dieselbe Formel und denselben Koeffizienten nach Gutermuth und Eberle wie Bernoulli ($z = \Delta p'$; $\beta = 10{,}5 \cdot 10^{-8}$; $\gamma = \sigma$; $u = v$). In der folgenden Berechnung sind die Bezeichnungen und der Koeffizient nach Bernoulli eingesetzt.

Von den in der Formel enthaltenen Größen ist $\Delta p' = 1$ at und $l = 300$ m gegeben, σ läßt sich aus dem gegebenen Dampfdruck an Hand der Dampftabellen bestimmen; v ergibt sich aus dem stündlich durchfließenden Dampfvolumen (das aus dem gegebenen stündlichen Dampfgewicht und aus σ bestimmt werden kann), wenn d zunächst als Unbekannte eingeführt wird. Damit ist v auf d zurückgeführt und die Gleichung enthält nur noch die eine Unbekannte d, die daraus bestimmt werden kann.

Aus d und der Wandstärke folgt der Außendurchmesser des Rohres und daraus die abkühlende Rohroberfläche.

Aus dieser Oberfläche und den bekannten Temperaturen des Dampfes und der Außenluft läßt sich an Hand der in den Handbüchern angegebenen Formeln und Koeffizienten der Wärmeverlust pro Stunde bestimmen.

Danach ergibt sich der folgende Rechnungsgang:

Mittlerer Überdruck im Rohre: $\frac{12 + 11}{2} = 11{,}5$ at (metrische!).

Mittlerer absoluter Druck im Rohre: $11{,}5 + 1 = 12{,}5$ at.

Für diesen Druck ergibt sich der Wert von σ aus den Dampftabellen zu 6,22 kg/cbm (Hütte 1923, I., S. 498. — Bernoulli S. 388 rechnet mit alten Atmosphären. — Dubbel I., S. 397. — Freytag S. 478).

1 kg des Dampfes nimmt ein Volumen von 0,161 cbm ein, wie sich aus denselben Tabellen oder durch Division der vorigen Ziffer in 1 ergibt $\left(\frac{1}{6{,}22} = 0{,}161\right)$.

Die gesamte pro Stunde durch das Rohr strömende Dampfmenge von 10000 kg hat daher ein Volumen von $10000 \cdot 0{,}161$ cbm, woraus sich das in der Sekunde durchfließende Volumen zu

$$\frac{10000 \cdot 0{,}161}{3600} = 0{,}448 \text{ cbm/sek}$$

ergibt.

Die Geschwindigkeit des Dampfes im Rohr ist dann

$$v = \frac{0,448}{d^2 \cdot \pi/4}\,\text{m/sek.}$$

Durch Einsetzen dieser Werte in die oben angegebene Gleichung für den Druckabfall ergibt sich die Beziehung:

$$\Delta p' = 1 = 0,000000105 \cdot 6,22 \cdot \frac{300}{d} \cdot \frac{0,448^2}{d^4\,(\pi/4)^2};$$

$$d^5 = \frac{1,05 \cdot 6,22 \cdot 300 \cdot 0,448^2}{(\pi/4)^2 \cdot 10^7} = 6,37 \cdot 10^{-5};$$

$$\log_{10} d^5 = 0,8041 - 5;\ \log_{10} d = 0,1608 - 1;$$

$$d = 0,145\ \text{m (innerer Rohrdurchmesser).}$$

Gemäß dem oben Gesagten ist dann die Dampfgeschwindigkeit

$$v = \frac{0,448}{d^2 \cdot \pi/4} = \frac{0,448}{0,145^2 \cdot \pi/4} = \frac{0,448}{0,0165} = 27,1\ \text{m/sek},$$

eine für Dampfleitungen nicht große Geschwindigkeit.

Aus dem lichten Rohrdurchmesser von 145 mm und der Wandstärke von 4,5 mm ergibt sich der äußere Durchmesser des nackten Rohres zu $145 + 2 \cdot 4,5 = 154$ mm oder 0,154 m.

Der äußere Umfang des nackten Rohres ist daher $0,154 \cdot \pi = 0,484$ m, woraus sich die gesamte Oberfläche des nackten Rohres ohne Flanschen zu $0,484 \cdot 300 = 145$ qm ergibt. Für die Flanschen ist hierzu ein Zuschlag von etwa 10 % zu machen, so daß die abkühlende Oberfläche des nackten Rohres zu etwa $145 + 15 = 160$ qm anzusetzen ist.

Für den stündlichen Wärmeverlust W der nackten Leitung bei Sattdampf gibt Bernoulli S. 376 die Formel:

$$W = F \cdot k\,(t - t_0)\ \text{Wärme-Einheiten pro Stunde,}$$

worin t die mittlere Dampftemperatur, t_0 die Lufttemperatur, F die Rohroberfläche in qm, und k einen Erfahrungskoeffizienten bedeutet, dessen Wert bei Sattdampf $8 + 0,04\,t$ ist.

Daraus folgt hier, da die Dampftabellen für gesättigten Dampf von 12,5 at absolut eine Temperatur von 189° C angeben, $k = 8 + 0,04 \cdot 189 = 8 + 7,6 = 15,6$, und folglich:

$$W = 160 \cdot 15,6\,(189 - 10) = 160 \cdot 15,6 \cdot 179 = \mathbf{447\,000\ Kal/Std.}$$

Die Hütte 1923, I., S. 471 gibt für den Wärmeverlust in WE/Std (der hier Q/Z heißt), die Formel an: $K \cdot F \cdot (t_1 - t_2)$. Darin bedeutet F dasselbe wie bei Bernoulli, $t_1 - t_2$ dasselbe wie dort $t - t_0$, so daß also K dieselbe Bedeutung hat wie dort k.

Für K gibt die Hütte bei nacktem Rohr und Sattdampf den Wert $10{,}47 + 0{,}0133\, t_1$, also hier

$$10{,}47 + 0{,}0133 \cdot 189 = 10{,}47 + 2{,}52 \approx 13 \frac{\text{WE}}{\text{qm} \cdot \text{Std} \cdot {}^0\text{C}}.$$

Dubbel I., S. 359 gibt für den stündlichen Wärmeverlust der nackten Leitung (der hier Q_n heißt) die Formel:

$$F \cdot k \cdot \left(t_d - \frac{x}{2} - t_e\right) \text{Kal/Std.}$$

Darin bedeutet F dasselbe wie bei Bernoulli, x den Unterschied der Dampftemperatur zwischen Anfang und Ende der Leitung in ^{0} C, t_d die Dampftemperatur am Anfang der Leitung, t_e die Lufttemperatur, $t_d - \frac{x}{2} - t_e$ folglich dasselbe wie $t - t_0$ bei Bernoulli. k hat daher bei Dubbel dieselbe Bedeutung wie bei Bernoulli. Dubbel gibt dafür in der Tabelle S. 360 bei den Dampftemperaturen von 175^0 C bzw. 200^0 C die Werte 14,4 bzw. **15,3** an.

Die Werte nach Hütte (13) und Dubbel (15,3) weichen demnach nicht sehr erheblich von dem angewendeten Wert (15,6) ab.

Zu 2. Wenn 1 kg Kohle 7000 WE enthält und der Kessel einen Wirkungsgrad von $75\,{}^0/_0$ hat, so sind zur Erzeugung je einer im Dampf enthaltenen Wärme-Einheit $\frac{1}{7000 \cdot 0{,}7}$ kg Kohle aufzuwenden, die bei einem Kohlenpreis von 20 Goldmark pro Tonne oder 2 Goldpfennigen pro Kilogramm $\frac{2}{7000 \cdot 0{,}7}$ Goldpfennige kosten.

Der gesamte Wärmeverlust der Dampfleitung verursacht daher pro Stunde einen Kohlenkostenaufwand von $\frac{447000 \cdot 2}{7000 \cdot 0{,}7}$ Goldpfennigen $= 182$ Goldpfennigen oder 1,82 Goldmark bei einer Lufttemperatur von $+ 10^0$ C.

Im Laufe des Jahres schwankt von den in die Berechnung von W eingegangenen Werten nur t_0 und damit k. Eine Schwankung von t_0 um $\pm 15^0$ C verändert den Wert von k um $\pm 0{,}04 \cdot 15 = 0{,}60$ oder um $\frac{0{,}60 \cdot 100}{15{,}6}\,{}^0/_0 = \pm 3{,}84\,{}^0/_0$ seines vorigen Wertes. Ferner verändert sie den Faktor $(t - t_0) = (189 - t_0)$ um ∓ 15 oder um $\mp \frac{15 \cdot 100}{179}\,{}^0/_0 = \mp 8{,}38\,{}^0/_0$ seines vorigen Wertes. Im

ganzen ändert sich daher W dadurch um etwa $\pm 3{,}84 \mp 8{,}38 = \mp 4{,}54\,\%$. Da größere Abweichungen des Wertes der Lufttemperatur von dem Werte $+10^0$ C als $\pm 15^0$ C nur selten vorkommen und da diese Abweichung um $\pm 15^0$ C nur eine kleine Änderung von W verursacht (4,54 %), so kann die durch Schwankungen von t_0 verursachte Änderung von W hinreichend genau als proportional mit der Änderung von t_0 angenommen werden, und zwar so, daß die Erhöhung der Lufttemperatur um je 1^0 C über $+10^0$ C in diesem Falle den Wert von W um $\frac{4{,}54}{15}\,\% \approx 0{,}3\,\%$ verringert. Daraus folgt, daß der gesamte Jahresverlust nahezu richtig berechnet wird, wenn man als t_0 die mittlere Jahrestemperatur einsetzt. Im vorliegenden Falle, wo sie $+10^0$ C beträgt, ist daher eine Umrechnun des Betrages von 1,82 Goldmark pro Stunde nicht erforderlich. Wäre sie höher oder niedriger als $+10^0$ C, so wäre er gemäß dem Vorstehenden auf die mittlere Jahrestemperatur umzurechnen.

In den $365 \cdot 24 = 8760$ Stunden des Jahres, in denen die Leitung dauernd in Betrieb (wenigstens unter Dampfdruck und damit auch auf der hohen Temperatur) gehalten werden soll, beträgt daher der durch den Abkühlungsverlust der Rohrleitung bedingte Mehraufwand an Kohlenkosten $8760 \cdot 1{,}82 =$ **15940 Goldmark.**

Zu 3. Für den stündlichen Wärmeverlust einer isolierten Dampfleitung gibt Bernoulli S. 376 die Formel:

$$W = \frac{2\,\pi\,(t - t_0)\,l}{\frac{1}{(r+\delta)\,k'} + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r+\delta}{r}} \text{ WE/Std.}$$

Darin haben t, t_0, l dieselbe Bedeutung wie vorhin; r bezeichnet den äußeren Radius des nackten Rohres in m, δ die Wandstärke der Wärmeschutzumhüllung in m, k' die Wärmeübergangszahl für den Wärmeübergang von der Isoliermasse an die Luft (Zahl der WE, die auf je 1 qm der Außenoberfläche der Isolierschicht in 1 Std an die Außenluft übergehen, wenn der Temperaturunterschied zwischen der Isolierschicht-Außenoberfläche und der Luft 1^0 C beträgt) (Hütte 1923, I., S. 458, 459, wo der Wert α heißt, ebenso Bernoulli S. 372 und Dubbel I., S. 380), λ die Wärmeleitzahl für die Isoliermasse (Zahl der WE, die in 1 Stunde durch 1 qm einer ebenen sehr dicken Isolierschicht gehen würden, wenn das Temperaturgefälle 1^0 C auf je 1 m der Schichtstärke beträgt). (Bernoulli S. 374. — Hütte 1923, I., S. 457. — Dubbel I., S. 380.)

Gemäß Bernoulli S. 374 ist hier für Kieselgur $\lambda = 0{,}07$ eingesetzt. Gemäß der Aufgabe soll für k' die Zahl 4 angenommen werden.

Im vorliegenden Falle ist demnach einzusetzen:

$$t = 189^0\,\mathrm{C};\ t_0 = +\,10^0\,\mathrm{C};\ l = 300\,\mathrm{m};\ r = \frac{0{,}154}{2} = 0{,}077\,\mathrm{m};$$

$$\delta = 0{,}03\,\mathrm{m};\ k' = 4\,\frac{\mathrm{WE}}{\mathrm{qm}\cdot\mathrm{Std}\cdot{}^0\mathrm{C}};\ \lambda = 0{,}07\,\frac{\mathrm{WE}}{\mathrm{qm}\cdot\mathrm{Std}\cdot{}^0\mathrm{C/m}}.$$

Dann ergibt sich:

$$W = \frac{2\cdot\pi\cdot(189-10)\cdot 300}{\frac{1}{(0{,}077+0{,}03)\cdot 4} + \frac{1}{0{,}07}\cdot\ln\frac{0{,}077+0{,}03}{0{,}077}}\,\mathrm{Kal/Std}$$

$$= \frac{1885\cdot 179}{\frac{1}{0.107\cdot 4} + \frac{1}{0{,}07}\cdot\ln\frac{0{,}107}{0{,}077}}\,\mathrm{Kal/Std};$$

$$\log_{10} 0{,}107 = 0{,}0294 - 1;$$

$$\log_{10} 0{,}077 = 0{,}8865 - 2;$$

$$\log_{10}\frac{0{,}107}{0{,}077} = 0{,}1429;$$

$$\ln\frac{0{,}107}{0{,}077} = 0{,}1429\cdot 2{,}3026 = 0{,}3290;$$

$$W = \frac{1885\cdot 179}{2{,}34+4{,}70} = \frac{1885\cdot 179}{7{,}04} = \mathbf{47\,900\ WE/Std}$$

an Stelle von 447000 WE/Std bei der nackten Leitung. Das sind $\frac{47\,900\cdot 100}{447\,000}\,\% = 10{,}7\,\%$ des vorigen Wertes. Auch die Jahreskohlenkosten sinken daher auf 10,7 % des früheren Betrages von 15940 Goldmark, also auf **1706 Goldmark,** so daß die Ersparnis an Kohlenkosten durch die Isolierung der Dampfleitung 15940 — 1706 = 14234 Goldmark pro Jahr beträgt.

Die Hütte 1923, I., S. 470 gibt für den stündlichen Wärmeverlust bei isolierten Leitungen, der hier Q/Z heißt, die etwas ausführlichere Formel:

$$\frac{Q}{Z} = \frac{l\cdot\pi\cdot(t_1-t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_a} + \frac{1}{2\,\lambda_i}\ln\frac{d_m}{d_i} + \frac{1}{2\,\lambda_a}\ln\frac{d_a}{d_m}}\,\mathrm{Kal/Std.}$$

Darin bedeutet l dasselbe wie bei Bernoulli, $t_1 - t_2$ dasselbe wie dort $t - t_0$, α_1 die Wärmeübergangszahl für den Übergang der Wärme vom gesättigten Dampf auf die innere Rohrwand in $\frac{\mathrm{WE}}{\mathrm{qm}\cdot\mathrm{Std}\cdot{}^0\mathrm{C}}$, d_i den inneren Rohrdurchmesser in m, α_2 dasselbe

wie k' bei Bernoulli, d_a den äußeren Durchmesser der Isolierung, also dasselbe wie $2(r+\delta)$ bei Bernoulli, λ_i die Wärmeleitzahl für die eiserne Rohrwand in $\frac{\text{WE}}{\text{qm}\cdot\text{Std}\cdot{}^0\text{C/m}}$, d_m den äußeren Durchmesser des nackten Rohres, also dasselbe wie dort $2r$, λ_a dasselbe wie dort λ. Für α_1 rät die Hütte S. 470 bei Sattdampf etwa den Wert 2000 einzusetzen. Für α_2 gibt die Hütte S. 459 eine Formel und Tabelle, $\alpha_2 = 1{,}02\sqrt[4]{\frac{\Delta}{d}}$, wobei Δ die Differenz zwischen den Temperaturen der äußeren Isolierschicht-Oberfläche und der Luft ist, d der Außendurchmesser der Isolierhülle. Schätzt man Δ zu 50^0 C, so ergibt sich α_2 bei $d = 0{,}214$ etwa zu $1{,}02\sqrt{\frac{50}{0{,}214}} = 1{,}02\sqrt{234} \approx 4$. Bei $\Delta = 20^0$ C, was gewiß zu wenig ist, bzw. bei $\Delta = 100^0$, was gewiß zu viel ist, würde sich ergeben: $\alpha_2 \approx 4\sqrt[4]{\frac{20}{50}} = 4\sqrt[4]{0{,}4} \approx 3{,}2$ bzw. $\alpha_2 \approx 4\sqrt[4]{2}$ $\approx 4{,}8$, so daß die Unsicherheit bezüglich des Wertes von α_2 nicht sehr groß ist und mit dem Wert 4 gerechnet werden kann, der ja auch in der Aufgabe genannt war. Für λ_i gibt die Hütte S. 466 unter Eisen etwa den Wert 50 an, für λ_a S. 467 unter Kieselgur etwa den Wert 0,07.

Die Auswertung nach der Formel der Hütte ergibt daher:

$$\frac{Q}{Z} = \frac{300\cdot\pi\cdot(189-10)}{\frac{1}{2000\cdot 0{,}145} + \frac{1}{4\cdot 0{,}214} + \frac{1}{2\cdot 50}\ln\frac{0{,}154}{0{,}145} + \frac{1}{2\cdot 0{,}07}\ln\frac{0{,}214}{0{,}154}}\ \text{WE/Std}$$

$$= \frac{300\cdot 3{,}14\cdot 179}{0{,}00345 + 1{,}17 + 0{,}01\ln 1{,}06 + 7{,}14\ln 1{,}39}\ \text{WE/Std};$$

$$\log_{10} 1{,}06 = 0{,}0253;$$

$$\ln 1{,}06 = 0{,}0253\cdot 2{,}303 = 0{,}0583;\quad 0{,}01\cdot 0{,}0583 = 0{,}000583;$$

$$\log_{10} 1{,}39 = 0{,}1430;$$

$$l_n 1{,}39 = 0{,}1430\cdot 2{,}303 = 0{,}330;\quad 7{,}14\cdot 0{,}330 = 2{,}36;$$

$$\frac{Q}{Z} = \frac{300\cdot 3{,}14\cdot 179}{0{,}000345 + 1{,}17 + 0{,}000583 + 2{,}36} = \frac{300\cdot 3{,}14\cdot 179}{3{,}534}$$

$$= \mathbf{47\,700\ WE/Std.}$$

Bernoulli hat im Nenner den ersten und dritten Summanden fortgelassen, die in der Tat, wie die vorstehende Rechnung zeigt, verschwindend klein sind. Da im übrigen die beiden Formeln übereinstimmen und auch für λ und λ_a dieselben Werte ein-

gesetzt sind (0,07), so ergeben beide Formeln nahezu dieselbe Wärmemenge.

Dubbel gibt Bd. II., S. 360 für den stündlichen Wärmeverlust der isolierten Leitung Q_i die Formel:

$$Q_i = \frac{F \cdot \left(t_d - \frac{x}{2} - t_e\right)}{\frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{k'} \cdot \frac{d_2}{d_3} + \frac{d_2}{2\,\lambda} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2}} \text{ WE/Std.}$$

Darin bedeutet F die Oberfläche des nackten Rohres, also $F = d_2 \cdot \pi \cdot l$. Im übrigen sind nachstehend die hier verwendeten Zeichen den genau entsprechenden der Hütte gegenübergestellt:

Dubbel:	d_1	d_2	d_3	α_1	λ	k'	$\left(t_d - \frac{x}{2}\right)$	t_e
Hütte:	d_i	d_m	d_a	α_1	λ_a	α_2	t_1	t_2

Für α_1 gibt Dubbel einen erheblich anderen Wert an als die Hütte (150 statt 2000), offenbar als Mittelwert für überhitzten Dampf. Indessen ergab sich ja vorhin der ganze Summand, der α_1 enthält, als unerheblich. Für λ gibt Dubbel in einer Tabelle Bd. II., S. 360 bei der Dampftemperatur von 175^0 C den Wert 0,104 als Mittelwert für verschiedene Isoliermaterialien, was etwa der in der Hütte I., S. 467 für angerührte und getrocknete Isolierkomposition angegebenen Ziffer entspricht (0,10). In einer Tabelle Bd. I, S. 381 gibt er für Kieselgur bei 400^0 C für λ den Wert 0,12. Für k' gibt Dubbel in einer Tabelle Bd. II, S. 360 bei $t_d = 175^0$ C den Wert 5,9 an (gegenüber dem nach der Hütte zu etwa 4 ermittelten, bei Bernoulli zu 2 bis 6,5 und in der Aufgabe zu 4 angegebenen Wert).

Die Formel bei Dubbel stimmt unter Berücksichtigung der abweichenden Bezeichnungsweise mit der der Hütte überein, nur daß bei Dubbel der dritte Summand des Nenners fortgelassen ist, der, wie vorhin gezeigt, tatsächlich nicht ins Gewicht fällt.

100. Nach Eintritt stationärer Verhältnisse muß aus dem Oberflächen-Kondensator in der Stunde genau dieselbe Wärmemenge abgeführt werden, die ihm zugeführt wird.

Abgeführt wird ihm Wärme (wenn man von der geringen Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung an die Luft absieht) erstens mit dem Kondensat, zweitens mit dem Kühlwasser.

Die durch das Kondensat abgeführte Wärmemenge ergibt sich aus der gemessenen Kondensattemperatur und dem stündlichen Kondensatgewicht. Letzteres ist zwar noch unbekannt; es ist aber gleich dem gesuchten Dampfgewicht.

Die durch das Kühlwasser abgeführte Wärmemenge ergibt sich aus der durch die Messung festgestellten Temperaturzunahme des Kühlwassers im Kondensator und der stündlich durch den Kondensator fließenden Kühlwassermenge. Da dasselbe Kühlwasser in stetigem geschlossenem Kreislauf zwischen dem Kondensator, dem Kühlturm und den Zirkulationspumpen umläuft, so ist es nach Eintritt des Beharrungszustandes gleichgültig, an welcher Stelle dieses Kreises die Kühlwassermenge gemessen wird. Sie kann daher aus der am Kühlturm vorgenommenen Überfallmessung berechnet werden[1]).

Die dem Kondensator pro Stunde zugeführte Wärmemenge folgt aus dem gesuchten stündlichen Dampfgewicht und dem Wärme-Inhalt von 1 kg Dampf. Dieser Wärme-Inhalt kann, da der Dampfdruck im Kondensator gegeben ist, unter der etwa zutreffenden Annahme, daß der Dampf beim Eintritt in den Kondensator gesättigt ist, hinreichend genau aus den Dampftabellen entnommen werden.

Somit sind in der oben angedeuteten Wärmegleichung alle Größen mit Ausnahme des gesuchten stündlichen Dampfgewichtes bekannt, so daß aus der Gleichung dieser gesuchte Wert berechnet werden kann.

Hiernach ergibt sich der folgende Gang der Berechnung:

Das Vakuum am Kondensator beträgt $90\,^0/_0$, der absolute Druck im Kondensator also etwa 0,10 at. Bei diesem Druck enthält je 1 kg gesättigten Dampfes gemäß den Dampftabellen 616 WE. Ist D der stündliche Dampfverbrauch in kg, so werden daher dem Kondensator durch den Dampf stündlich $616\,D$ Wärme-Einheiten zugeführt.

Bezeichnet Q' die stündliche Kühlwassermenge in kg (!), so führt das Kühlwasser $(39 - 22)\,Q' = 17\,Q'$ WE/Std ab. Das Kondensat führt $45\,D$ WE/Std ab.

Es gilt daher: $616\,D = 45\,D + 17\,Q'$; $571\,D = 17\,Q'$; $D = \frac{17}{571}\,Q' = 0{,}0298\,Q'$. (Demnach ist $Q' = \frac{D}{0{,}0298} = 33{,}6\,D$; die Anlage arbeitet mit „34facher Kühlwassermenge“, ein für Oberflächenkondensationen ziemlich niedriger Betrag.)

---

[1]) Eine kleine Ungenauigkeit wird dabei vielleicht insofern begangen, als im Kühlturm ein kleiner Teil des Wassers verdunstet, etwa 1 bis $2\,^0/_0$.

Für die Überfallmessung gibt Bernoulli S. 274 die Formel $Q = k \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2gh}$. Darin ist Q die Wassermenge in cbm/sek (!); k ein Erfahrungskoeffizient; b die Überfallbreite in Meter; h die Überfallhöhe in Meter; g die Erdbeschleunigung in m/sek^2 = 9,81. Hier ist demgemäß

$$b = 0{,}550; \quad h = H - W = 0{,}435 - 0{,}250 = 0{,}185 \text{ m}.$$

Für den Koeffizienten k gibt Bernoulli S. 275 nach Frese für einen vollkommenen Überfall ohne seitliche Strahlzusammenziehung eine empirische Formel an. Gemäß der Abbildung 28 ist der Überfall „vollkommen", weil der Wasserspiegel des abfließenden Wassers tiefer liegt als die Überfallkrone. Auch ist der Überfall seitlich nicht zusammengezogen, da gemäß dem Grundriß der Abbildung der Überfall die volle Breite des Gerinnes einnimmt; die Formel ist demnach hier anwendbar. Sie lautet:

$$k = 2/3\left(0{,}615 + \frac{0{,}0021}{h}\right)\left[1 + 0{,}55\left(\frac{h}{H}\right)^2\right] \text{[1]}.$$

Durch Einsetzen der gemessenen Werte für h und H folgt daraus:

$$k = \frac{2}{3}\left(0{,}615 + \frac{0{,}0021}{0{,}185}\right)\left[1 + 0{,}55\left(\frac{0{,}185}{0{,}435}\right)^2\right]$$

$$= \frac{2}{3}(0{,}615 + 0{,}011)[1 + 0{,}55 \cdot 0{,}181]$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 0{,}626 \cdot 1{,}1 = 0{,}46.$$

---

[1]) Die Hütte 1923, I., S. 338 gibt für $b = B$, d. h. für Überfall ohne seitliche Einschnürung, und für gut gelüftete Strahlunterfläche, also vollkommenen Überfall, in anderen Buchstaben Formeln für Q und für den Koeffizienten μ nach Frese.

Dasselbe gilt von Freytag, der S. 831 Formeln für Q und μ gibt und einen Überfall ohne seitliche Einschnürung einen „unvollständigen" nennt.

Dubbel gibt eine Formel für Q in Bd. I, S. 362, zu Fig. 4.

Bezüglich der Bezeichnungsweise entsprechen einander die Buchstaben gemäß folgender Tabelle:

Hütte: . .	Q	$^2/_3\,\mu$	b	g	h_u	h_k	$F = b h_u$
Bernoulli:	Q	k	b	g	h	H	
Freytag .	Q	$^2/_3\,\mu$	b	g	h	t	
Dubbel . .	Q	$^2/_3$	b	g	h		

Unter Berücksichtigung dieser verschiedenen Bezeichnungsweise decken sich die Formeln und Koeffizienten bei Hütte, Bernoulli, Freytag vollständig.

Bei Dubbel I., S. 362, Formel zu Fig. 4, scheint μ vergessen zu sein.

Daraus folgt dann:

$$Q' = 0{,}46 \cdot 0{,}550 \cdot 0{,}185 \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}185} = 0{,}0468 \cdot \sqrt{3{,}63}$$
$$= 0{,}0468 \cdot 1{,}905 = 0{,}0892 \text{ cbm/sek(!)}$$

oder die stündliche Kühlwassermenge in kg(!)

$$Q = 0{,}0892 \cdot 1000 \cdot 3600 = 321000 \text{ kg/Std.}$$

Die stündliche Dampfmenge ist daher

$$D = 0{,}0298 \cdot 321000 = 9570 \text{ kg/Std.}$$

101. Der Eisenverlust (Leerlaufsverlust) beträgt 1,3 % der Höchstleistungsfähigkeit aller Transformatoren bei $\cos\varphi = 1$, also 1,3 % von 900 kW, das ist 11,7 kW. Er findet mit diesem vollen Betrage zu allen Zeiten statt, in denen die Transformatoren überhaupt unter Spannung stehen (unabhängig von der Höhe ihrer Belastung), in diesem Falle also während der sämtlichen 8760 Stunden des Jahres, und beträgt daher im ganzen Jahre für alle Transformatoren zusammen $11{,}7 \cdot 8760 \approx$ **103000 kWStd.**

Der Kupferverlust ergibt sich für eine bestimmte Belastung aus dem für diese Belastung gegebenen Gesamtverlust durch Abzug des Eisenverlustes. Gegeben ist nun, daß bei einer Belastung von 900 kVA mit $\cos\varphi = 0{,}8$, also bei einer Leistung von $900 \cdot 0{,}8 = 720$ kW, der Wirkungsgrad 97,5 % beträgt, der Gesamtverlust also 2,5 % oder $0{,}025 \cdot 720 = 18$ kW. Davon entfallen, wie vorhin entwickelt ist, auf den Eisenverlust 11,7 kW, so daß für den Kupferverlust bei dieser Belastung (mit 900 kVA bei $\cos\varphi = 0{,}8$, also 720 kW) noch $18 - 11{,}7 = 6{,}3$ kW übrig bleiben. Der Kupferverlust ist nun nach dem Jouleschen Gesetz ($i^2 R$) stark von der Belastung abhängig, und zwar ist sein in Kilowatt ausgedrückter Betrag proportional dem Quadrat der jeweils herrschenden Stromstärke.

Da die Spannung nahezu konstant bleibt, ist die Stromstärke nahezu der Belastung in kVA proportional, jedoch nicht der Belastung in kW (wegen des wechselnden Wertes von $\cos\varphi$)[1]. Bezeichnet man die Belastung in kVA mit B_{kVA}, so ist daher der jeweilige in kW ausgedrückte Kupferverlust aller Transformatoren:

$$6{,}3 \cdot \frac{(B_{\text{kVA}})^2}{900^2} \approx 7{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot B_{\text{kVA}}{}^2 \text{ kW}.$$

Der jeweilige Wert von B_{kVA} ergibt sich aus den gegebenen Werten der Belastung in kW durch Division von B_{kW} mit dem zu-

[1] Unter Belastung versteht man bisweilen die Leistung (in kW), bisweilen die scheinbare Leistung (in kVA), bisweilen die Stromstärke (in Amp).

gehörigen Wert von $\cos\varphi$. (Bei Einphasenwechselstrom ist $B_{kW} = \frac{e \cdot i \cdot \cos\varphi}{1000}$, wenn e in Volt und i in Amp eingesetzt werden; dagegen $B_{kVA} = \frac{e \cdot i}{1000}$. Bei Drehstrom ist $B_{kW} = \frac{e \cdot i \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi}{1000}$, $B_{kVA} = \frac{e \cdot i \cdot \sqrt{3}}{1000}$. In beiden Fällen ist also $B_{kVA} = \frac{B_{kW}}{\cos\varphi}$.)

Zur Berechnung der Kupferverluste sind in der folgenden Tabelle für die einzelnen Zeitabschnitte gleicher Belastung die folgenden Werte zusammengestellt:

1. Die Zeitdauer in Stunden (t).
2. Die Belastung in kW (B_{kW}).
3. Der Leistungsfaktor ($\cos\varphi$).
4. Die Nutzarbeit in diesem Abschnitt in kWStd ($t \cdot B_{kW}$).
5. Die Belastung in kVA $\left(B_{kVA} = \frac{B_{kW}}{\cos\varphi}\right)$.
6. Der Kupferverlust in diesem Zeitabschnitt in kW ($7{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot B_{kVA}{}^2$).
7. Der Kupferverlust in diesem Abschnitt in kWStd (Spalte 6 mal Spalte 1).

Die Spalten 4 (Nutzarbeit in kWStd) und 7 (Kupferverlust in kWStd) sind aufsummiert.

Spalte 1	2	3	4	5	6	7
Dauer t Stunden	Belastung B_{kW} kW	Leistungsfaktor $\cos\varphi$	Nutzarbeit $t \cdot B_{kW}$ kWStd	Belastung B_{kVA} kVA	Kupfer-Verlust in kW	in kWStd
500	550	0,65	275000	846	5,6	2800
200	500	0,7	100000	714	4,0	800
400	300	0,9	120000	333	0,87	348
900	100	0,8	90000	125	0,12	108
6760	0	—	0	0	0	0
zus. 8760			585000			4056

Danach beträgt der gesamte Kupferverlust im Jahre nur **4056 kWStd.** (Bei einiger Übung hätte man, da er mit i^2 sinkt, voraussehen können, daß sein Gesamtbetrag nur sehr klein wird, und hätte dann die ganze Berechnung gemäß der Tabelle durch eine Schätzung ersetzen können.)

Aus dem Kupferverlust und dem vorhin berechneten Eisenverlust folgt der gesamte Jahresverlust zu $4056 + 103000 \approx$ **107000 kWStd.**

Aus dem Jahresverlust und der Jahresnutzarbeit von 585000 kWStd (Spalte 4 der Tabelle) folgt die den Transformatoren im Jahre zugeführte Arbeit zu

$$107000 + 585000 = 692000 \text{ kWStd}.$$

Nutzarbeit und zugeführte Arbeit ergeben den Jahreswirkungsgrad zu $\frac{585000 \text{ kWStd}}{692000 \text{ kWStd}} = 0{,}85$.

(Die Rechnung wird, besonders beim Gebrauch des Rechenschiebers, genauer, wenn man zunächst den relativen Verlust bestimmt, $\frac{107000}{692000} = 0{,}155$, und dann erst daraus den Wirkungsgrad zu $1 - 0{,}155 = 0{,}845$.)

Bemerkung: Man beachte, daß hier der Jahreswirkungsgrad mit 84,5% weit schlechter ist, als der für Voll-Last garantierte und in den Preislisten angegebene Wirkungsgrad. Oft wird er noch viel schlechter, wenn nämlich der Eisenverlust größer ist als hier (1,3%), und wenn die mittlere Belastung noch geringer ist als hier angenommen wurde. Bisweilen liegt er unterhalb von 50%.

102. Zur Erzeugung einer Wasserstromstärke Q in der Rohrleitung ist ein Druck H (gemessen in m Wassersäule) erforderlich, der sich aus der konstanten hydrostatischen Förderhöhe von 15 m Wassersäule und der Reibungshöhe h_W zusammensetzt. Da bei konstanter Rohrlänge L und konstantem Rohrdurchmesser D die für h_W gegebene Formel eine Parabel darstellt, so ist hiernach auch der gesamte zum Durchtreiben von Q durch die Rohrleitung erforderliche Druck H eine Parabel, deren Achse mit der vertikalen Koordinatenachse zusammenfällt und deren Scheitelpunkt die Ordinate 15 m hat. Diese Parabel stellt somit die Beziehung zwischen Q und H dar, wenn diese Werte vom Gesichtspunkte der Rohrleitung aus betrachtet werden; die Rohrleitung verlangt für jeden Wert von Q den dieser Kurve entsprechenden Wert des Druckes H.

Andererseits stellt die gegebene Q/H-Kurve der Pumpe Q als Funktion von H dar, vom Gesichtspunkt der Pumpe aus betrachtet; die Pumpe erzeugt (bei konstanter Drehzahl) für jeden Wert von Q den dieser Kurve entsprechenden Wert des Druckes H.

Da nun die Pumpe und die Rohrleitung in Reihe geschaltet sind, fließt unbedingt durch beide die gleiche Wasserstromstärke Q; der Wert Q ist unbedingt in jedem Zeitpunkt für die Pumpe derselbe wie für die Rohrleitung.(!)

Da ferner die Pumpe die einzige Ursache der Wasserströmung ist, so kann die Strömung nur dann stationär sein, wenn die Pumpe soviel Druck erzeugt wie die Rohrleitung verlangt.

Infolgedessen widersprechen sich die beiden Kurven im allgemeinen und vertragen sich nur dann, wenn Q und H diejenigen Werte haben, die dem Schnittpunkt der beiden Kurven entsprechen, also beiden Kurven genügen. Dieser Schnittpunkt ergibt somit denjenigen Wert von Q, der sich im Betriebe automatisch als stationärer Wert einstellt. Die Aufgabe wird daher durch Bestimmung der Abszisse dieses Schnittpunktes gelöst.

Die Q/H-Kurve läßt sich gemäß der in der Aufgabe gegebenen Abbildung darstellen durch die lineare Gleichung:

$$H_{\text{Pumpe}} = 30 - \frac{30-20}{0{,}05} \cdot Q = 30 - 200\,Q.$$

Die Rohrparabel hat nach Einsetzen der Zahlenwerte von L und D die Gleichung:

$$H_{\text{Rohr}} = 15 + \frac{0{,}0018 \cdot 250 \cdot Q^2}{0{,}2^5} = 15 + \frac{1{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}5 \cdot 10^2 \cdot Q^2}{2^5 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 15 + \frac{4{,}5 \cdot 10^4 Q^2}{32} = 15 + 1405\,Q^2.$$

Der Schnittpunkt der Q/H-Geraden mit der Rohrparabel ist daher festgelegt durch die Beziehung:

$$H_{\text{Pumpe}} = H_{\text{Rohr}} \text{ oder } 30 - 200\,Q = 15 + 1405\,Q^2.$$

Daraus folgt dann:

$$1405\,Q^2 + 200\,Q = 15; \quad Q^2 + 0{,}142\,Q = 0{,}0107;$$

$$Q = -0{,}071 \pm \sqrt{0{,}005041 + 0{,}0107} = -0{,}071 \pm \sqrt{0{,}0157}$$
$$= -0{,}071 \pm 0{,}125.$$

$$Q = 0{,}125 - 0{,}071 = 0{,}054 \text{ cbm/sek.}$$

(Die andere Wurzel der Gleichung hat keine praktische Bedeutung, da ein negativer Wert von Q hier keinen Sinn hat.) Die Lösung wird durch die maßstäbliche Skizze der Abbildung 79 erläutert und bestätigt.

Die minutliche Fördermenge ist demnach

$$60 \cdot 0{,}054 = \mathbf{3{,}24\ cbm/min.}$$

Probe für den berechneten Schnittpunkt:

$$H_{\text{Pumpe}} = 30 - 200 \cdot 0{,}054 = 30 - 10{,}8 = \mathbf{19{,}2}\ \text{m};$$

$$H_{\text{Rohr}} = 15 + 1405 \cdot 0{,}054^2 = 15 + 1405 \cdot 0{,}002916$$
$$= 15 + 4{,}10 = \mathbf{19{,}1}\ \text{m},$$

also hinreichend mit H_{Pumpe} übereinstimmend.

Bemerkung: In Wirklichkeit pflegt die Q/H-Kurve keine gerade Linie, sondern ebenfalls eine gekrümmte Kurve zu sein; vgl. Dubbel II., S. 261, 267, 268, 269, 270. — Hütte 1923, II., S. 767, 768. Ist sie vom Fabrikanten als gezeichnete Kurve (meist nicht als Gleichung) angegeben, so kann man auch die Rohrparabel im gleichen Maßstabe aufzeichnen und so den Schnittpunkt beider Kurven zeichnerisch bestimmen. Man beachte, daß eine bestimmte Q/H-Kurve einer bestimmten Pumpe nur für eine bestimmte Drehzahl gilt. Bei Änderung der Drehzahl in mäßigen Grenzen verschiebt sie sich stark, und zwar etwa lotrecht aufwärts oder abwärts, ohne ihre Form erheblich zu ändern.

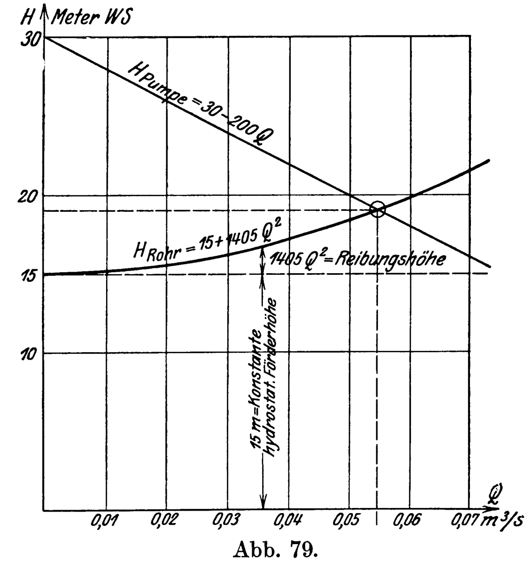


Abb. 79.

103. Zu 1. Das als Abbildung 80 beigefügte Schaltbild zeigt die Drehstrom-Sammelschienen, drei Trennschalter, einen Ölschalter mit Maximalauslösung, einen Stromwandler mit Amperemeter, zwei einphasige Spannungswandler mit Sicherungen, an die zwei Frequenzmesser F (oberes für die Sammelschienen, unteres für den Umformer), zwei Voltmeter zur Spannungsvergleichung, sowie ein Synchronisier-Voltmeter nebst Lampe (L) in „Dunkelschaltung“ angeschlossen sind, ferner den Regulier-Stufentransformator, den Umformer mit sechs Schleifringen, Kollektor und Bürsten, zwei Gleichstromsicherungen, das Gleichstrom-Amperemeter, ein Gleichstrom-Voltmeter, zwei Schalter und die Gleichstrom-Sammelschienen mit Voltmeter, auch die Schenkelwicklung des Umformers und den zugehörigen Regler.

Der Schenkelstrom wird den Sammelschienen entnommen, was voraussetzt, daß diese auch schon vor Inbetriebnahme des Umformers unter Spannung stehen, etwa weil außer dem Umformer auch eine Akkumulatorenbatterie vorhanden ist. Diese Batterie ist deswegen unter Fortlassung ihrer Apparate und Instrumente ebenfalls angedeutet.

Das Anlassen des Umformers erfolgt von der Gleichstromseite aus durch Strom aus der Batterie bei offenem Drehstrom-

schalter und bei offenem rechten und geschlossenem linken Gleichstromschalter mittels des Anlassers, der nach Inbetriebsetzung des Umformers durch den rechten Schalter überbrückt wird.

Nach dem Anlassen wird mittels des Regulier- oder Stufentransformators die Spannung auf beiden Seiten des Ölschalters auf denselben Wert gebracht und zugleich mittels des Reglers

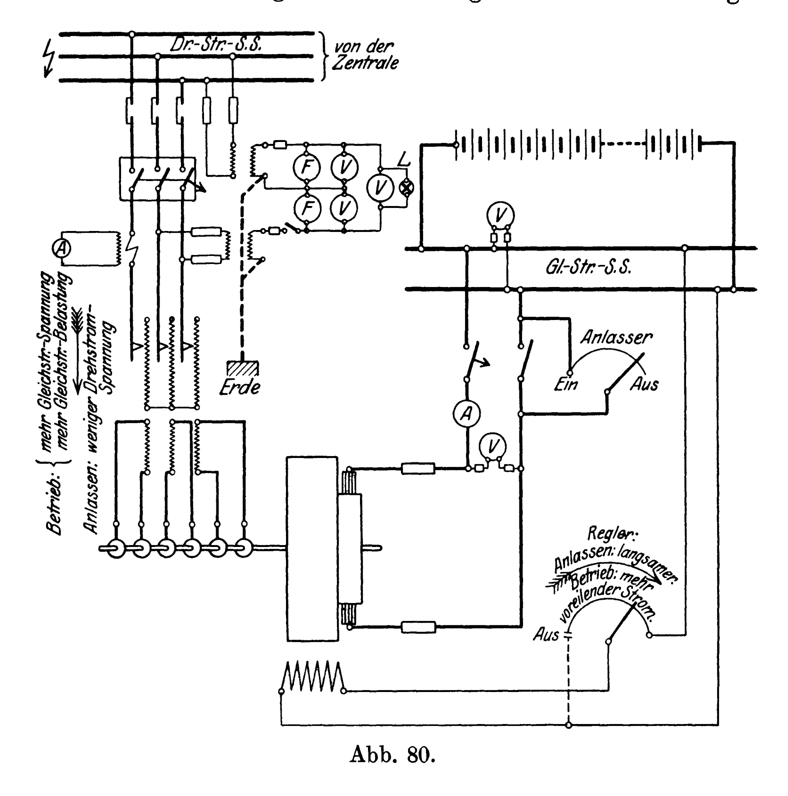


Abb. 80.

die Drehzahl und der an der Synchronisiereinrichtung zu beobachtende Synchronismus (Phasen-Gleichheit) eingestellt. In einem Zeitpunkt, in dem beides genau zutrifft, wird dann der Drehstromschalter geschlossen. Nach dem Synchronisieren erfolgt Änderung der Gleichstromspannung oder der Belastung durch Verstellung des Stufentransformators, während Verstellung des Reglers die Belastung nur unerheblich, dagegen die Phasenverschiebung erheblich ändert.

Die hier vorgesehene Art des Anlassens und der Regelung von Gleichstromspannung und Belastung stellt nur je ein Beispiel

dar. Es gibt zahlreiche andere Mittel zur Erreichung desselben Zweckes.

Zu beachten ist am Regler die punktierte Verbindung des Kurzschlußkontaktes mit einem Ende der Erregerwicklung, die beim Ausschalten des Erregerstromes das Entstehen einer hohen Spannung infolge der Selbstinduktion der Wicklung verhindert.

Übererregung des Umformers ergibt voreilenden Strom. Infolgedessen muß der Pfeil mit der Inschrift „mehr voreilender Strom" nach derjenigen Bewegungsrichtung zeigen, bei der der Erregerstrom verstärkt, d. h. der Reglerwiderstand verringert wird. Ist der Strom gegenüber der Spannung nacheilend, so nimmt er bei Bewegung des Reglers in dieser Richtung ab.

Vor dem Einschalten des Drehstromes, also während der Anlaßperiode, bewirkt Verstärkung des Erregerstromes ein Sinken der Drehzahl. Als zweite, nur für die Anlaßperiode geltende Inschrift kann daher neben den Pfeil gesetzt werden „langsamer".

Neben der Kontaktbahn des Regulier-Transformators ist ebenfalls ein Pfeil gezeichnet, und zwar werden bei Bewegung des Kontaktes in der Pfeilrichtung Windungen der Hochspannungsseite des Transformators abgeschaltet. Während der Anlaßperiode hat dies die Wirkung, daß die Spannung auf der Hochspannungsseite des Transformators sinkt, worauf die Inschrift „Anlassen: weniger Drehstromspannung" hinweist.

Während des Betriebes bewirkt eine Verschiebung des Kontaktschlittens in der Pfeilrichtung eine Verringerung des Übersetzungsverhältnisses des Transformators und daher eine Erhöhung (!) der Sekundärspannung des Transformators und der den Schleifringen zugeführten Drehstromspannung. Dies bewirkt, wenn die Gleichstromseite des Umformers nicht mit anderen Maschinen oder Batterien parallel arbeitet, eine Erhöhung der Gleichstromspannung. Bei Parallelbetrieb mit anderen Maschinen oder Batterien ist jedoch diese Gleichstrom-Spannungserhöhung nur sehr gering, und die Wirkung besteht hauptsächlich in einer Steigerung der Gleichstromstärke und daher der Belastung. Hierauf weisen die Inschriften „Betrieb: mehr Gleichstromspannung" bzw. „Betrieb: mehr Gleichstrombelastung", hin.

Zu 2. Die Nutzleistung des Umformers auf der Gleichstromseite ergibt sich aus Strom und Spannung zu $1874 \cdot 446 = 835\,800$ Watt $= 835{,}8$ kW.

Bei einem Wirkungsgrad des Umformers und Transformators zusammen von $92\,\%$ muß daher die Leistungsaufnahme des Transformators auf der Hochspannungsseite $N = \frac{835{,}8}{0{,}92} = 908{,}5$ kW

betragen. Andererseits ist diese Leistung N gemäß der Angabe der beiden Wechselstrominstrumente gegeben durch $N = \frac{6150 \cdot 118 \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi}{1000}$ kW. Aus der Gleichsetzung der beiden Ausdrücke für N folgt dann:

$$\cos\varphi = \frac{1000 \cdot 908{,}5}{6150 \cdot 118 \cdot \sqrt{3}} = \mathbf{0{,}723}.$$

Zu 3. Wenn eine Verstärkung des Magnetfeldes, die gemäß dem zu 1) Gesagten im Sinne wachsenden Voreilens des Drehstromes gegenüber der Spannung wirkt, in der Tat eine Vergrößerung des Drehstromes verursacht, so beweist dies, daß der Strom schon voreilend war. (Wäre er nacheilend gewesen, so würde Verstärkung der Erregung, wenigstens zunächst, die Stromstärke verringern bis zu einem Minimum, bei dem $\cos\varphi = 0$ wird; erst bei noch weiterer Zunahme der Erregung würde der dann voreilend werdende Strom wieder anwachsen.)

104. Zu 1. Die Federwage zeigte bei der Eichung das 1,1fache bzw. 1,06fache bzw. 1,06fache des richtigen Wertes an. Mit Rücksicht auf die geringere relative Ablesegenauigkeit beim ersten Wert kann allgemein 1,06 als zutreffend angenommen werden. Der Korrekturfaktor (mit dem man die Ablesung multiplizieren muß, um den richtigen Wert zu erhalten) beträgt also: $\frac{1}{1{,}06} = 0{,}943$.

Die Uhr verliert in 20 Min (= 1200 Sek) 32,4 Sek, zeigt also 1167,6 Sek statt 1200 Sek. Ihre Korrektur beträgt daher $+\frac{32{,}4 \cdot 100}{1167{,}6}\,\% = +\,2{,}78\,\%$ des angezeigten Wertes, ihr Korrekturfaktor 1,0278.

Am linken Bremsscheibenumfang ziehen senkrecht abwärts außer dem Seilende und dem Seilhaken noch 35 kg.

Am rechten Seilende ziehen abwärts außer dem der linken Seite gleichwertigen Seilstück und Seilhaken:

1. eine Seil-Mehr-Länge von 67 cm. Sie wiegt

$$67 \cdot \frac{0{,}189}{263} = 0{,}05 \text{ kg};$$

2. die Federwage f. Sie wiegt 0,34 kg;

3. die Kette g und der von dem festen Haken i auf die Kette ausgeübte Zug z_1. Die Summe von z_1 und dem Kettengewicht ergibt den am Haken h der Federwage wirkenden Zug z_2. Da dieser aber an der Federwage gemessen wird, geht das Ketten-

gewicht nicht in die Rechnung ein, und seine Feststellung wäre nicht nötig gewesen.

Die Ablesung an der Federwage ergab 19,20 kg, der wirkliche Zug z_2 an Haken h war also $0{,}943 \cdot 19{,}20 = 18{,}11$ kg.

Die Summe der lotrechten Kräfte rechts war somit

$$0{,}05 + 0{,}34 + 18{,}11 = 18{,}50 \text{ kg}.$$

Der Überschuß des linken Zuges über den rechten betrug daher:

$$35{,}00 - 18{,}50 = 16{,}50 \text{ kg}.$$

Diese Kraft wirkt in der Seilachse, also in bezug auf die Motordrehachse mit einem Hebelarm von $\frac{350}{2} + \frac{\delta}{2} = 175 + 5 = 180$ mm oder 0,18 m. Ihr Drehmoment $\mathfrak{M}$ ist daher $16{,}50 \cdot 0{,}18 = 297{,}0$ mkg.

Der Motor machte in der Versuchsdauer $11272 - 7442 = 3830$ Umdrehungen und brauchte dazu nach Angabe der Stoppuhr 3 Min oder 180 Sek, in Wahrheit aber 2,78 % oder 5,0 Sek mehr, also 185,0 Sek. Die minutliche Umdrehungszahl war daher:

$$n = \frac{3830 \cdot 60}{185{,}0} = 1242,$$

und die Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega = \frac{1242 \cdot 2 \cdot \pi}{60} = 130{,}1 \text{ in der Sek.}$$

Die Bremsleistung war demgemäß:

$$\mathfrak{M} \cdot \omega = 297{,}0 \cdot 130{,}1 = 38640 \text{ mkg/sek oder } \frac{38640}{75} = \mathbf{5{,}152\ PS.}$$

Zugeführt erhielt der Motor 41,82 Amp × 111,3 Volt = 4655 Watt. Seine abgegebene Leistung betrug nur 5,152 PS oder $5{,}152 \cdot 736 = 3792$ Watt; sein Wirkungsgrad war daher

$$\eta = \frac{3792}{4655} = 0{,}815 \text{ oder } \mathbf{81{,}5\,\%}.$$

Zu 2. Das Verhältnis der beiden Kräfte, die an einem um eine Scheibe geschlungenen Seil nach verschiedenen Seiten ziehen, ist, wenn das Seil auf der Scheibe gleitet, $e^{\mu\alpha}$, worin e die Basis der natürlichen Logarithmen, μ die Reibungsziffer für Seil und Scheibe, endlich α den vom Seil umspannten Winkel der Seilscheibe in Bogenmaß bedeutet. Hier ist $\alpha = \pi$.

Die rechte Kraft wurde vorhin zu 18,50 kg festgestellt, die linke betrug 35 kg. Zu beiden Werten kommt noch das Gewicht von je einem Haken c bzw. d und von einem Seilstück, dessen Länge gleich dem Abstand des Hakens c von dem darüber liegen-

den Berührungspunkt von Seil und Scheibe ist. Diese Länge ergibt sich aus der ganzen Seillänge (263 cm), dem in der Skizze bezeichneten Stück von 67 cm, und dem auf der Scheibe aufliegenden Stück von $(35 + 1) \cdot \frac{\pi}{2} = 56{,}5$ cm zu $\frac{263 - 67 - 56{,}5}{2}$ $= 69{,}5$ cm, so daß ihr Gewicht $69{,}5 \cdot \frac{0{,}189}{263} = 0{,}05$ kg ist. Das Gewicht eines Hakens war 0,08 kg. Die beiden Kräfte am Seil, bezogen auf den Auflauf- bzw. Ablaufpunkt an der Seilscheibe, betrugen daher:

$$18{,}50 + 0{,}05 + 0{,}08 = 18{,}63 \text{ kg},$$

bzw.

$$35{,}00 + 0{,}05 + 0{,}08 = 35{,}13 \text{ kg};$$

ihr Verhältnis war somit $\frac{35{,}13}{18{,}63} = 1{,}886$.

Daraus folgt:

$$1{,}886 = e^{\mu\alpha};$$

$$\log_{10} 1{,}886 = \mu \cdot \pi \cdot \log_{10} e;$$

$$0{,}27554 = \mu \cdot \pi \cdot 0{,}4343;$$

$$\mu = \frac{0{,}276}{3{,}14 \cdot 0{,}434} = 0{,}203.$$

(Natürlich ändert sich diese Ziffer mit dem Zustand des Seiles in bezug auf Feuchtigkeit, Fettigkeit usw.)

Zu 3. Wird bei e ein anderes Gewicht statt der 35 kg angehängt, etwa G kg, so stellt sich auch die Federwage anders ein. Die in der Abbildung 30 mit 67 cm angegebene Seilstrecke wird sich aber nicht nennenswert ändern, daher auch nicht die linke Seilstrecke zwischen Scheibe und Haken c. Es wirken daher dann links:

$$G + 0{,}05 + 0{,}08 = G + 0{,}13 \text{ kg}.$$

Die rechte Kraft verhält sich zur linken wie $1 : e^{\mu\pi}$, also wie $1 : 1{,}886$, beträgt also $\frac{G + 0{,}13}{1{,}886} = 0{,}530\,G + 0{,}07$ kg.

Wirksam wird daher eine Umfangskraft von $G + 0{,}13 - 0{,}530\,G - 0{,}07 = 0{,}470\,G + 0{,}06$ kg an einem Hebelarm von 0,18 m bei einer Winkelgeschwindigkeit von 130,1 pro Sek, so daß die Leistung $(0{,}470 \cdot 0{,}18 \cdot 130{,}1\,G + 0{,}06 \cdot 0{,}18 \cdot 130{,}1)$ mkg/sek

$$= (11{,}01\,G + 1{,}41) \text{ mkg/sek} \quad \text{oder} \quad \left(\frac{11{,}01}{75}\,G + \frac{1{,}41}{75}\right)$$

$$= (\mathbf{0{,}1468}\,\boldsymbol{G} + \mathbf{0{,}0188})\,\textbf{PS} \text{ wird.}$$

105. Aus der in der Aufgabe gegebenen Formel für λ ergibt sich mit $D = 0{,}08$ (Meter) der Wert:

$$\lambda = 0{,}0125 + \frac{0{,}0011}{0{,}08} = 0{,}0125 + 0{,}0137 = \mathbf{0{,}0262.}$$

Das spezifische Gewicht γ der Luft bei 5 at Überdruck oder 6 at absolut und einer Temperatur von 45° C oder 45 + 273 = 318° absolut beträgt

$$\gamma = 1{,}293 \cdot \frac{735{,}5}{760} \cdot 6 \cdot \frac{273}{318} = \mathbf{6{,}45\ kg/cbm.}$$

Hierin ist 1,293 das spezifische Gewicht der Luft bei 0° C und 760 mm Hg; der Faktor $\frac{735{,}5}{760}$ rechnet dies spezifische Gewicht auf den Druck von einer metrischen Atmosphäre oder von 1 kg/cm² um, der einer Quecksilbersäule von 735,5 mm bei einer Quecksilbertemperatur von 0° C entspricht. Der Faktor 6 rechnet von 1 at absolut auf 6 at absolut um, und der Faktor $\frac{273}{318}$ von 0° C auf 45° C.

Zur Ermittelung der Geschwindigkeit v ist zunächst die sekundliche Luftmenge bei dem im Rohr herrschenden Zustand festzustellen. Der Kompressor fördert in der Minute 30 oder in der Sekunde $\frac{30}{60} = 0{,}5$ cbm Luft von 700 mm Hg und 15° C oder 288° absolut. Das sekundliche Luftvolumen Q in cbm bei 6 at absolut und $T = 318°$ beträgt daher

$$Q = 0{,}5 \cdot \frac{700}{735{,}5} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{318}{288} = 0{,}0875\ \text{cbm/sek.}$$

Der Querschnitt des Rohres mit einem lichten Durchmesser von $D = 0{,}08$ (m) ist $F = \frac{0{,}08^2 \cdot \pi}{4} = 0{,}005027\ \text{m}^2$.

Daraus ergibt sich die Geschwindigkeit im Rohr:

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{0{,}0875\ \text{m}^3/\text{sek}}{0{,}005027\ \text{m}^2} = \mathbf{17{,}4\ m/sek.}$$

Die Länge des Rohres beträgt $L = 230$ m; endlich ist $g = 9{,}81$ m/sek².

Durch Einsetzen dieser Zahlenwerte in die Blaessche Formel für H ergibt sich der Druckverlust in der Rohrleitung, ausgedrückt in mm Wassersäule zu:

$$H = 0{,}0262 \cdot \frac{230}{0{,}08} \cdot \frac{6{,}45 \cdot 17{,}4^2}{2 \cdot 9{,}81}\ \text{mm WS} = \mathbf{7495\ mm\ WS.}$$

Der Druckverlust im Rohr beträgt also 7,495 m Wassersäule. Von dem durch den Kompressor erzeugten Überdruck von 5 at oder 50 m Wassersäule gehen daher im Rohr nahezu $\frac{7{,}5 \cdot 100}{50}\,\% = 15\,\%$ **verloren**, so daß am Ende der Rohrleitung nur noch ein Überdruck von $0{,}85 \cdot 50 = 42{,}5$ m Wassersäule oder 4,25 at verbleibt.

Bemerkung: Bei diesem nicht unerheblichen Druckverlust im Rohr ist der Zustand der Luft in bezug auf Druck am Anfang und Ende nicht mehr nahezu gleich, wie in der Rechnung angenommen wurde. Es müßte deshalb, wenn eine größere Genauigkeit verlangt wird, in der nächsten Annäherung für den absoluten Druck im Rohr ein Mittelwert eingesetzt werden, und zwar etwa der Wert $\frac{6 + 5{,}25}{2}$ at. Diesem Wert entsprechend ergeben sich dann etwas andere Ziffern für γ, Q und v, und damit ein neuer Wert für den Druckverlust H und für den Druck am Ende des Rohres. Sollte auch dann noch der für den durchschnittlichen absoluten Druck im Rohr eingesetzte Wert erheblich von dem Mittelwert zwischen dem absoluten Druck am Ende des Rohres und dem absoluten Druck am Anfang des Rohres (6 at) abweichen, so wäre die Rechnung nochmals unter Zugrundelegung des zuletzt gefundenen mittleren Druckes zu wiederholen.

Diese weitere Annäherung erledigt sich sehr rasch, wenn man an Hand der Formeln beachtet, daß γ dem absoluten Druck p proportional ist, daher Q ihm umgekehrt proportional, ebenso v; v^2 ist daher umgekehrt proportional p^2, und folglich ist γv^2 umgekehrt proportional p. Da in der Formel für H alle anderen Faktoren nicht von p abhängen, ist somit auch H proportional $\frac{1}{p}$. Setzt man daher in nächster Annäherung $p = \frac{6 + 5{,}25}{2}$ $= 5{,}625$ at absolut ein, so wird $H = 7495 \frac{6}{5{,}625} \approx 8000$ mm Wassersäule. Der mittlere Druck im Rohr wird dann $6 - \frac{8000}{2 \cdot 10000} = 6 - 0{,}4 = 5{,}60$ at absolut. Setzt man wieder diesen ein, so wird $H = 7495 \frac{6}{5{,}60} \approx 8030$ mm Wassersäule und der mittlere Druck daher $6 - \frac{8030}{2 \cdot 10000} = 5{,}599$ at absolut, womit dann eine völlig hinreichende Übereinstimmung zwischen Ergebnis und Annahme erzielt wäre. Die genauere Lösung ist daher $H = 8030$ mm Wassersäule, entsprechend einem Druckverlust von 8,03 m Wassersäule oder $\frac{8{,}03 \cdot 100}{50}\,\% \approx 16\%$ des Überdruckes am Kompressor.

Bei allen Rechnungen ist angenommen, daß die Temperatur auf der ganzen Rohrstrecke unverändert bleibt.

106. Ist L die zu übertragende Leistung, gemessen in Watt am Verwendungsort, E die Zentralenspannung in Volt, ε der Spannungsverlust in der Leitung in Volt, i die in der Leitung fließende Stromstärke in Amp, R der Gesamtwiderstand der

Leitung in Ohm, so ist die Spannung am Verwendungsort $E - \varepsilon$, folglich $L = i\,(E - \varepsilon)$. Ferner ist $\varepsilon = iR$ oder $i = \frac{\varepsilon}{R}$. Durch Einsetzen des Wertes von i aus der zweiten Gleichung in die erste folgt:

$$L = \frac{\varepsilon}{R} \cdot (E - \varepsilon) = \frac{E \cdot \varepsilon - \varepsilon^2}{R} \text{ oder } R = \frac{E\varepsilon - \varepsilon^2}{L} = \frac{E}{L}\varepsilon - \frac{1}{L}\varepsilon^2 .$$

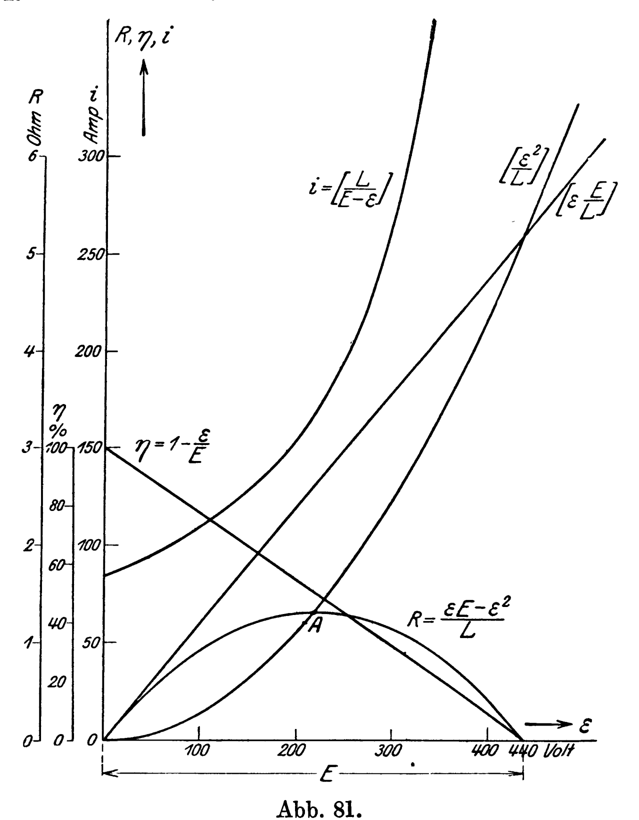


Abb. 81.

Sind hierin E und L gegebene konstante Werte, und nur R und ε veränderlich, und wählt man ε als Abszisse, so entsteht die Kurve für R gemäß der Abbildung 81 aus einer durch Null gehenden Geraden $\frac{E}{L}\varepsilon$, von der eine Parabel $\frac{1}{L}\varepsilon^2$ abgezogen wird. Sie erreicht rechts die Nullachse bei $E\varepsilon = \varepsilon^2$ oder $\varepsilon = E$. Da der Leitungswiderstand R nur positive Werte haben kann, kommt

nur der über der Abszissenachse liegende Teil der R-Kurve in Betracht.

Mit jedem durch dieses Parabelstück gegebenen Wert von R kann die Leitung die Leistung L übertragen (freilich mit sehr verschiedenen Werten für den Strom i und für den Wirkungsgrad η). Wenn es sich, wie hier, nur darum handelt, (ohne Rücksicht auf η) mit einer möglichst billigen Leitung (d. h. bei gegebener Länge und gegebenem Metall mit möglichst kleinem Querschnitt q) auszukommen, was gleichbedeutend ist mit möglichst großem Widerstand R, so ist offenbar von dieser Parabel der Kulminationspunkt A zu wählen. Er wird bestimmt, indem man den Differentialquotienten $\frac{dR}{d\varepsilon}$ gleich Null setzt:

$$R = \frac{E}{L}\,\varepsilon - \frac{1}{L}\,\varepsilon^2 = \frac{1}{L}(E\,\varepsilon - \varepsilon^2)\,;$$

$$\frac{dR}{d\varepsilon} = \frac{1}{L}(E - 2\,\varepsilon) = 0\,; \quad \varepsilon = \frac{E}{2}\,.$$

(Dies hätte man auch ohne Differentiation und weitere Rechnung sogleich sagen können, wenn man aus der geometrischen Entstehung der Kurve oder aus ihrer Gleichung erkannte, daß es eine nach unten offene Parabel mit vertikaler Mittelachse ist, die die ε-Achse bei $\varepsilon = 0$ und bei $\varepsilon = E$ schneidet. Der Ort ihres Maximums ergab sich dann schon aus Symmetriegründen bei $\varepsilon = \frac{E}{2}$).

Die billigste Leitung ergibt sich daher, wenn in der Leitung die Hälfte der Zentralenspannung verlorengeht. In diesem Falle wird

$$R = \frac{1}{L}\left[\frac{E^2}{2} - \left(\frac{E}{2}\right)^2\right] = \frac{E^2}{4\,L}\,.$$

Hieraus und aus der ganzen Lage der Parabel ergibt sich die folgende Regel:

Wenn gegeben ist die Zentralenspannung und die am Verbrauchsort ankommende Leistung sowie der zugelassene Höchstbetrag des Spannungsabfalls, so ist zunächst zu prüfen, ob der gegebene höchstzulässige Spannungsabfall kleiner ist als die Hälfte der Zentralenspannung (was in der Praxis fast stets zutreffen wird).

Ist dies der Fall, so ergibt sich der größtzulässige Leitungswiderstand (und damit bei gegebener Länge und gegebenem Metall der Leitung zugleich ihr kleinstzulässiger Querschnitt), wenn man mit dem höchstzulässigen Spannungsabfall rechnet.

Ist jedoch der gegebene höchstzulässige Spannungsabfall größer als die Hälfte der Zentralenspannung (so daß der Wirkungsgrad der Leitung bei voller Ausnutzung dieser Spannungsabfall-Grenze kleiner als 50 % würde), so ergibt sich der größtzulässige Leitungswiderstand (und damit bei gegebener Länge und gegebenem Metall der Leitung zugleich ihr kleinstzulässiger Querschnitt), wenn man den Spannungsabfall gleich der halben Zentralenspannung (also kleiner als zugelassen) wählt.

In beiden Fällen berücksichtigt die Querschnittsberechnung nicht die Frage, ob der Querschnitt den auftretenden Strom verträgt. Dies muß vielmehr nach Ermittelung der Stromstärke und des Querschnittes in beiden Fällen noch besonders nachgeprüft werden an Hand der empirischen Belastungstabellen.

Die Stromstärke i folgt aus der gegebenen am Verbrauchsort ankommenden Leistung L und der am Verbrauchsort ankommenden Spannung $(E - \varepsilon)$ zu $i = \frac{L}{E - \varepsilon}$.

Der Wert i wird für $\varepsilon = 0$ zu $\frac{L}{E}$,

für $\varepsilon = E$ zu ∞,

und wird im übrigen durch eine gleichseitige Hyperbel dargestellt, deren Asymptoten die horizontale ε-Achse sowie die bei $\varepsilon = E$ errichtete Senkrechte sind, und die bei $\varepsilon = 0$ den Ordinatenwert $i = \frac{L}{E}$ hat. Der Wert von i steigt demnach mit wachsendem ε stetig an.

Der Wirkungsgrad η der Leitung ergibt sich aus der am Verbrauchsort ankommenden Leistung $(E - \varepsilon) \cdot i$ und der von der Zentrale in die Leitung geschickten Leistung $E \cdot i$ zu $\eta = \frac{E - \varepsilon}{E} = 1 - \frac{\varepsilon}{E}$. Die Kurve für η über ε als Abszisse ist daher eine Gerade, die bei $\varepsilon = 0$ durch 1 (oder 100 %) geht, bei $\varepsilon = E$ dagegen durch Null.

Auch die Kurven für i und η sind in die Abb. 81 eingetragen.

Bei den in der Aufgabe angegebenen Verhältnissen ist zwischen Null und E nicht weiter begrenzt, so daß bei $\varepsilon = \frac{E\varepsilon}{2}$ $= 220$ Volt die Leitung am billigsten wird. R wird dann $\frac{E^2}{4L} = \frac{440^2}{4 \cdot 37000} = 1{,}31\ \Omega$. Dabei wird $\eta = 0{,}5$ und $i = \frac{L}{E - \varepsilon}$

$= \frac{2L}{E} = \frac{2 \cdot 37000}{440} = 168$ Amp. Der Leitungsquerschnitt ergibt sich aus $R = \frac{2 \cdot l \cdot \varrho}{q}$ oder $q = \frac{2 \cdot l \cdot \varrho}{R} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 0{,}3}{1{,}31} \approx 92$ qmm. Da jedes qmm mit 3 Amp belastet werden darf, so ist der Querschnitt für die 168 Amp in bezug auf Erwärmung völlig ausreichend.

Den berechneten Querschnitt von 92 qmm wird man auf den nächsthöheren Normalquerschnitt von 95 qmm aufrunden. Dann wird $R = \frac{2 \cdot 200 \cdot 0{,}3}{95} = 1{,}265\ \Omega$. Der Wert R liegt jetzt etwas tiefer als das Maximum der Parabel und gibt daher zwei verschiedene und von 220 Volt abweichende Werte für ε und daher auch zwei verschiedene und von 168 abweichende Werte für i.

Sie ergeben sich aus der Beziehung: Ankommende Leistung gleich Anfangsleistung minus Leitungs-Leistungs-Verlust, also:

$$L = E \cdot i - i^2 R \quad \text{oder} \quad 37000 = 440 \cdot i - i^2 \cdot 1{,}265.$$

Daraus folgt $\quad i^2 - 348\, i = -29200,$

$$i = 174 \pm \sqrt{174^2 - 29200} = 174 \pm \sqrt{30276 - 29200}$$
$$= 174 \pm \sqrt{1076} = 174 \pm 33.$$

$i_1 = 207$ Amp; $i_2 = 141$ Amp.

Von diesen zwei Werten kommt praktisch nur der kleinere von **141 Amp** in Betracht. Denn der Abnehmer wird die Widerstände seiner Heizkörper nur so lange verringern, bis der Strom auf 141 Amp und damit die Leistung auf die vereinbarten 37 kW steigt. ε wird dann $= iR = 141 \cdot 1{,}265 = 178$ Volt. Die Spannung am Verbrauchsort $(E - \varepsilon)$ wird $440 - 178 =$ **262 Volt**, und die Leistung am Verbrauchsort wird $i\,(E - \varepsilon) = 141 \cdot 262 = 37000$ Watt. Der Wirkungsgrad der Leitung ist dabei $\frac{262}{440} = 0{,}595$ oder $59{,}5\,\%$.

Diese Zahlen sind in das Schema Abbildung 82 eingetragen.

Würde der Abnehmer den Widerstand seiner Heizkörper noch weiter verringern, so würde i stetig steigen, die Spannung am Ver-

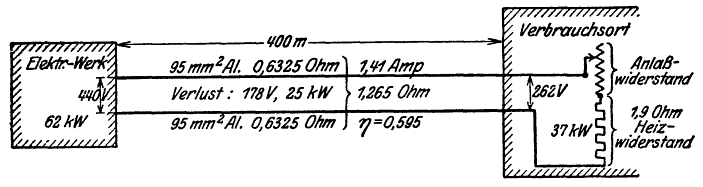


Abb. 82.

brauchsort $(E - \varepsilon) = E - i \cdot R$ dagegen stetig sinken. Ihr Produkt $(E - \varepsilon) \cdot i$, die ankommende Leistung, würde zunächst steigen, dann aber wieder sinken und bei $i = i_1 = 207$ Amp wiederum 37000 Watt betragen. Es würde nämlich dann:

$$\varepsilon = iR = 207 \cdot 1{,}265 = 262 \text{ Volt};$$
$$E - \varepsilon = 440 - 262 = 178 \text{ Volt};$$
$$L = (E - \varepsilon) \cdot i = 178 \cdot 207 = 36900 \text{ oder rund } 37000 \text{ Watt}.$$
$$\eta \text{ wird dann } \frac{178}{440} = 0{,}405 \text{ oder } 40{,}5\,\%.$$

Der Wirkungsgrad der Leitung wird also schlechter als bei 141 Amp, so daß der Wert $i_2 = 141$ Amp der günstigere ist.

Die Kurven sind den Ziffern der Aufgabe entsprechend maßstäblich gezeichnet, und zwar bedeutet auf den Abszissen je 1 mm 8 Volt.

Auf den Ordinaten bedeutet:

bei der Geraden für $\varepsilon \frac{E}{L}$ und bei den beiden Parabeln für $\frac{\varepsilon^2}{L}$ und für R: je 1 mm 0,08 Ohm;
bei der Hyperbel für i: je 1 mm 4 Amp.;
bei der Geraden für η: je 1 mm 2,67 %.

107. Zweckmäßig berechnet man die indizierte Leistung N_i' (in PS) für jeden der 4 Zylinderräume (HD-Deckelseite, HD-Kurbelseite, ND-DS, ND-KS) einzeln, schon um zu sehen, ob die vier Räume ungefähr gleich viel zur Gesamtleistung beitrugen. Die Addition von je zwei Werten gibt dann N_i'' für die einzelnen Zylinder, die Gesamtsumme gibt N_i für die ganze Maschine.

Aus dem Flächeninhalt J eines Indikatordiagramms (in qmm) und seiner (parallel zur atmosphärischen Linie gemessenen größten) Länge l (in mm) ergibt sich durch Division seine „mittlere Höhe h_m“ (in mm). (Das ist die Höhe eines Rechtecks von gleichem Inhalt und gleicher Länge.)

Die Federaufschrift gibt unter der Voraussetzung, daß ein Indikatorkolben von 10 mm $\varnothing$ benutzt wurde, die Bedeutung c von je 1 mm der Diagrammhöhe in kg/cm² an. Moderne Indikatoren haben meistens mehrere gegeneinander auswechselbare Zylinder mit zugehörigen Kolben, damit man bei geringeren Drücken die größeren Kolben und daher steifere Federn verwenden kann, so daß die Reibung des Indikators weniger störend wirkt. Wird nun nicht derjenige Kolben benutzt, für den die Federaufschrift gilt, so ist die Druckbedeutung von 1 mm Diagrammhöhe

eine entsprechend andere. Hat der verwendete Kolben doppelten Durchmesser (20 mm statt 10 mm), also vierfache Kolbenfläche, so wirkt derselbe Dampfdruck (in at) mit der vierfachen Kraft (in kg) auf den Indikatorkolben und auf die Indikatorfeder und hebt daher den Schreibstift um den vierfachen Betrag (in mm). Je 4 mm der Diagrammhöhe bedeuten daher jetzt denselben Dampfdruck (at) wie vorhin 1 mm; 1 mm bedeutet jetzt nur $^1/_4$ des vorigen Druckwertes.

Gemäß dieser Überlegung ist die wirkliche Bedeutung c' von je 1 mm Diagrammhöhe unter Berücksichtigung des wirklich benutzten Indikatorkolbens für die einzelnen Diagrammgruppen zu bestimmen. Daraus und aus der ermittelten Diagrammhöhe folgt dann der mittlere Dampfdruck („indizierter Druck p_i") (in kg/cm²), der während einer vollen Umdrehung in dem betreffenden indizierten Zylinderraum herrschte.

Aus p_i (in kg/cm²) und der wirksamen Kolbenfläche F der betreffenden Zylinderseite (in cm²) ergibt sich die auf den Kolben in diesem Zylinderraum während einer Umdrehung im Mittel wirkende arbeitsleistende Kraft P_m (in kg). Der Wert von F (in cm²) folgt aus dem Zylinderdurchmesser D (in cm!) und dem Kolbenstangendurchmesser d (in cm!) gemäß $F = D^2 \cdot \pi/4 - d^2 \cdot \pi/4$. (Der Subtrahend fällt natürlich fort, wenn die Kolbenstange durch den betreffenden Zylinderraum nicht ganz hindurch führt; im vorliegenden Falle ging sie gemäß den Angaben der Aufgabe durch alle Deckel.)

Aus P_m (in kg) und dem Hub der Maschine s (in m!) (hier ist $s = 0{,}8$ m) ergibt sich die von der betreffenden Zylinderseite bei einer vollen Umdrehung geleistete indizierte Arbeit zu $P_m \cdot s$ mkg.

Man beachte, daß p_i die mittlere Differenz zwischen dem arbeitsleistenden Druck der Füllungs- und Expansionsperiode und dem arbeitsverbrauchenden Druck der Ausschub- und Kompressionsperiode ist, so daß die aus p_i sich ergebende Kraft P_m zur Ermittelung der von dieser Zylinderseite bei einer vollen Umdrehung geleisteten Arbeit nur noch mit dem Hube s der Maschine (nicht etwa mit $2\,s$) multipliziert werden muß!

Diese Arbeit (in mkg) wird in der Minute n mal geleistet, so daß die indizierte Leistung dieser einen Zylinderseite sich zu $\frac{P_m \cdot s \cdot n}{60}$ mkg/sek $= \frac{F \cdot p_i \cdot s \cdot n}{60}$ mkg/sek ergibt.

In PS ausgedrückt ist daher die indizierte Leistung einer Zylinderseite

$$N_i' = \frac{F\,(\text{in cm}^2) \cdot p_i\,(\text{in kg/cm}^2) \cdot s\,(\text{in m}) \cdot n}{60 \cdot 75}\ \text{PS}.$$

Durch Einsetzen derjenigen Größen, die für alle 4 Zylinderseiten denselben Wert haben, wird daraus für den hier vorliegenden Fall:

$$N_i' = F\,(\text{in cm}^2) \cdot p_i\,(\text{in kg/cm}^2) \cdot \frac{0{,}8 \cdot 150}{60 \cdot 75}$$
$$= 0{,}0267 \cdot F\,(\text{in cm}^2) \cdot p_i\,(\text{in kg/cm}^2)\,(\text{PS})$$

oder $N_i' = 0{,}0267 \cdot P_m\,(\text{in kg})\,(\text{PS})$.

Die weitere ziffernmäßige Berechnung wird am bequemsten und übersichtlichsten in Form einer Tabelle durchgeführt, wobei für jede Zylinderseite eine Vertikalspalte vorgesehen ist. Die Horizontalzeilen enthalten etwa der Reihe nach: D, $D^2\,\pi/4$, d, $d^2\,\pi/4$, F, J, l, h_m, c, Indikatorkolbendurchmesser, c', p_i, P_m, N_i', N_i'', N_i. In jeder Zeile ist die Bedeutung der Zahlen, das Symbol und die Maßeinheit anzugeben. Auf strenge Einhaltung der Maßeinheiten ist ganz besonders zu achten.

Hiernach ergibt sich die folgende Tabelle:

Zeile	Benennung und Ableitung	Bezeichnung	Maßeinheit	Hochdruckzylinder		Niederdruckzylinder	
				Deckelseite	Kurbelseite	Deckelseite	Kurbelseite
1	Zylinderdurchmesser (gegeben)	D	cm	45	45	73	73
2	Zylinderquerschnitt (aus Zeile 1)	$D^2\pi/4$	cm²	1590	1590	4185	4185
3	Kolbenstangendurchmesser (gegeben)	d	cm	6	6	6	6
4	Kolbenstangenquerschnitt (aus Zeile 3) . .	$d^2\pi/4$	cm²	28	28	28	28
5	Wirksame Kolbenfläche ($D^2\pi/4 - d^2\pi/4$) . . .	F	cm²	1562	1562	4157	4157
6	Diagrammfläche (gegeben)	J	mm²	1380	1290	1590	1470
7	Diagrammlänge (gegeben)	l	mm	78,4	78,4	78,4	78,4
8	Mittlere Diagrammhöhe (J/l)	h_m	mm	17,60	16,45	20,28	18,75
9	Bedeutung von 1 mm beim Kolben von 10 mm ∅ (gegebene Federaufschrift)	c	at	0,2	0,2	0,25	0,25
10	Benutzter Indikatorkolbendurchmesser (gegeben)		mm	10	10	20	20
11	Bedeutung von 1 mm der Diagrammhöhe bei diesem Kolben (aus Zeile 9 und 10)	c'	at	0,2	0,2	0,0625	0,0625

Zeile	Benennung und Ableitung	Bezeichnung	Maßeinheit	Hochdruckzylinder		Niederdruckzylinder	
				Deckelseite	Kurbelseite	Deckelseite	Kurbelseite
12	Mittlerer indizierter Druck ($c' \cdot h_m$) (aus Zeile 8 u. 11)	p_i	at	3,52	3,29	1,268	1,172
13	Mittlere wirksame Kraft ($p_i \cdot F$) (aus Zeile 5 u. 12)	P_m	kg	5498	5139	5271	4872
14	Indizierte Leistung der betreffenden Zylinderseite (0,02667 P_m)	N_i'	PS	146,6	137,1	140,6	129,9
15	Indizierte Leistung eines Zylinders	N_i''	PS	283,7		270,5	
16	**Indizierte Leistung der ganzen Maschine** . .	N_i	PS	**554,2**			

Danach war die Arbeitsleistung der 4 Zylinderräume einigermaßen gleich groß (146,6; 137,1; 140,6; 129,9 PS), was oft nicht zutrifft. Auch die Leistung der beiden Zylinder war ungefähr gleich groß (283,7 gegen 270,5 PS). Die indizierte Gesamtleistung der Maschine war **554 PS.**

108. Zu 1. Die sekundliche Wassermenge Q beträgt $\frac{6}{60} = 0{,}1$ cbm/sek. Ist F der lichte Rohrquerschnitt in qm und v die Wassergeschwindigkeit in m/sek, so ist $Q = F \cdot v$ oder $F = \frac{Q}{v}$, woraus hier folgt: $F = \frac{0{,}1}{2{,}5} = 0{,}04$ qm oder 4 dm². Die lichte Rohrweite d (in dm) folgt aus $d^2 \frac{\pi}{4} = 4$; $d = \sqrt{\frac{4}{\pi/4}} = 2{,}26$ dm.

Die erforderliche Rohrweite ist also 226 mm oder, abgerundet auf die nächste gangbare Weite, **225 mm.**

Zu 2. Der Druckverlust in der Leitung (oder das Gefälle zur Überwindung der Reibung) h_w (in m Wassersäule) ist nach Weisbach:

$$h_w = k \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g},$$

wobei bedeutet:

k einen Koeffizienten,
L die Rohrlänge in Metern,
D die lichte Rohrweite in Metern (!),
v die Wassergeschwindigkeit in m/sek,
g die Erdbeschleunigung in m/sek² (also 9,81).

Der Wert von k folgt aus der von Weisbach angegebenen empirischen Formel:

$$k = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{v}},$$

woraus sich durch Einsetzen von $v = 2{,}5$ ergibt:

$$k = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{1{,}5811} = 0{,}01439 + 0{,}0060 = 0{,}0204.$$

Bequemer ist die Ermittelung aus einer in Bernoulli S. 283 angegebenen Tabelle, in der der Wert für k bei $v = 2$ m/sek zu 0,0211 und bei $v = 3$ m/sek zu 0,0199 angegeben ist, woraus man durch lineare Interpolation bei $v = 2{,}5$ m/sek den Wert

$$0{,}0199 + \frac{0{,}0012}{2} = 0{,}0205 \text{ erhält.}$$

In die Formel für h_w sind jetzt außer dem Wert von k auch die übrigen Zahlenwerte einzusetzen, nämlich:
$L = 330$ m (senkrecht 300 m, wagerecht 30 m);
$D = 0{,}225$ m (!);
$v = 2{,}5$ m/sek. [Die kleine Ungenauigkeit, die dadurch entsteht, daß D etwas kleiner als berechnet gewählt wurde und v daher etwas größer als 2,5 m/sek wird, kann vernachlässigt werden. Genauer wäre es, einzusetzen $v = 2{,}5 \cdot \left(\frac{226}{225}\right)^2 = 2{,}52$ m/sek.]

Dann ergibt sich:

$$h_w = 0{,}0204 \cdot \frac{330}{0{,}225} \cdot \frac{2{,}5 \cdot 2{,}5}{2 \cdot 9{,}81} = \mathbf{9{,}53\ m.}$$

Zu 3. Außer dem Druckverlust durch Reibung im Rohr treten im Rohr noch Verluste durch Krümmungen und infolge der Austrittsgeschwindigkeit ein. Der Druckverlust durch einen Krümmer von α^0 ist nach Weisbach (in Meter Flüssigkeitssäule) $\zeta \frac{\alpha^0}{90^0} \frac{v^2}{2\,g}$ (Bernoulli S. 285). Darin ist ζ ein Koeffizient, der vom Verhältnis der lichten Rohrweite D zum Krümmungsradius R der Rohrachse abhängt.

Bei normalen Krümmern ist etwa $R = D + 100$ mm (Bernoulli S. 243). Hier ist daher $\frac{D}{R} = \frac{225}{325} \approx 0{,}7$. Dabei ergibt die Tabelle Bernoulli S. 285 für ζ durch Interpolation den Wert $\frac{0{,}16 + 0{,}20}{2} = 0{,}18$, so daß für einen Krümmer von 90^0 der

Druckverlust $0{,}18 \cdot \frac{2{,}5^2}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}0275$ m wird, der Verlust für 6 Krümmer also etwa 0,16 m.

Der Austrittsverlust beträgt $\frac{v^2}{2g} = \frac{2{,}5^2}{2 \cdot 9{,}81} \approx 0{,}32$ m, so daß alle diese Verluste zusammen nur etwa 0,35 m ausmachen. Die manometrische Gesamtförderhöhe H der Pumpe in Metern beträgt daher $300 + 9{,}53 + 0{,}35 \approx 310$ m. Die manometrische Förderleistung der Pumpe ist somit $\underset{(\mathrm{m})}{310} \cdot \underset{(\mathrm{kg/sek})}{100} = \underset{\left(\frac{\mathrm{mkg}}{\mathrm{sek}}\right)}{31000}$. Daraus folgt der Leistungsbedarf der Pumpe zu

$$\frac{31000}{0{,}8} = 38800 \text{ mkg/sek} \quad \text{oder} \quad \frac{38800}{75} = \mathbf{518\ PS.}$$

Zu 4. Zur Leistung von 518 PS braucht der Elektromotor bei einem zu etwa 92% anzunehmenden Wirkungsgrad eine zugeführte Leistung von $\frac{518 \cdot 0{,}736}{0{,}92} = \mathbf{414\ kW}$. Bei einer Spannung am Motor von 500 Volt beträgt der dazu erforderliche Strom $\frac{414000\ (\text{Watt})}{500\ (\text{Volt})} = \mathbf{828\ Amp.}$

Zu 5. Für 828 Amp ist gemäß der Tabelle Bernoulli S. 521 bei isolierten Leitungen in geschlossenen Räumen und bei Kupfer als Leitungsmaterial ein Querschnitt von 625 qmm erforderlich. Einleiter-Bleikabel für Spannungen bis 700 Volt, mit Kupferseele, dürfen bei Verlegung im Erdboden gemäß den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (Strecker, S. 439) belastet werden wie folgt:

Querschnitt in qmm:	310	400	500	625
Stromstärke in Amp:	785	910	1035	1190.

Bei Verlegung der Kabel in Luft wird empfohlen, die Belastung auf etwa $^3/_4$ der in der Tabelle angegebenen Werte herabzusetzen. In diesem hier vorliegenden Falle ist daher ein Kabel zu wählen, das bei Verlegung im Erdboden, also laut vorstehender Tabelle, mindestens $\frac{828 \cdot 4}{3} = 1105$ Amp vertragen würde, demnach ein Kabel von **625 qmm.**

Zu 6. u. 7. Die Streckenlänge von den Sammelschienen der Zentrale bis zum Motor beträgt (unter passender Annahme der nicht gegebenen Längen) etwa: 20 m (in Zentrale) + 100 m (Zentrale bis Schacht) + 300 m (Teufe) + 20 m (Schacht bis

Motor) + 10 m (für Krümmungen) = 450 m. Die Kabellänge ist demnach 2·450 m. Daher ist der Spannungsverlust im Kabel:

$$\frac{\overset{(\mathrm{m})}{2 \cdot 450} \cdot \overset{(\mathrm{Amp})}{828}}{\underset{(\mathrm{Kupfer})}{57} \cdot \underset{(\mathrm{qmm})}{625}} = 21 \text{ Volt.}$$

In der Zentrale beträgt dann die Spannung, da sie am Motor 500 Volt sein sollte, **521 Volt**, und die in die Pumpenkabel abgegebene Leistung: $\frac{521 \cdot 828}{1000} = \mathbf{431{,}4\ kW.}$

109. Die Anordnung wird durch die Abb. **83** in Grundriß und Aufriß dargestellt, in denen die gegebenen Maße und Gewichte eingetragen sind. Die Kranstellung ist dabei so angenommen, daß die Mittel-Linie des Kranes mit der Mitte eines Pfeilers (B)

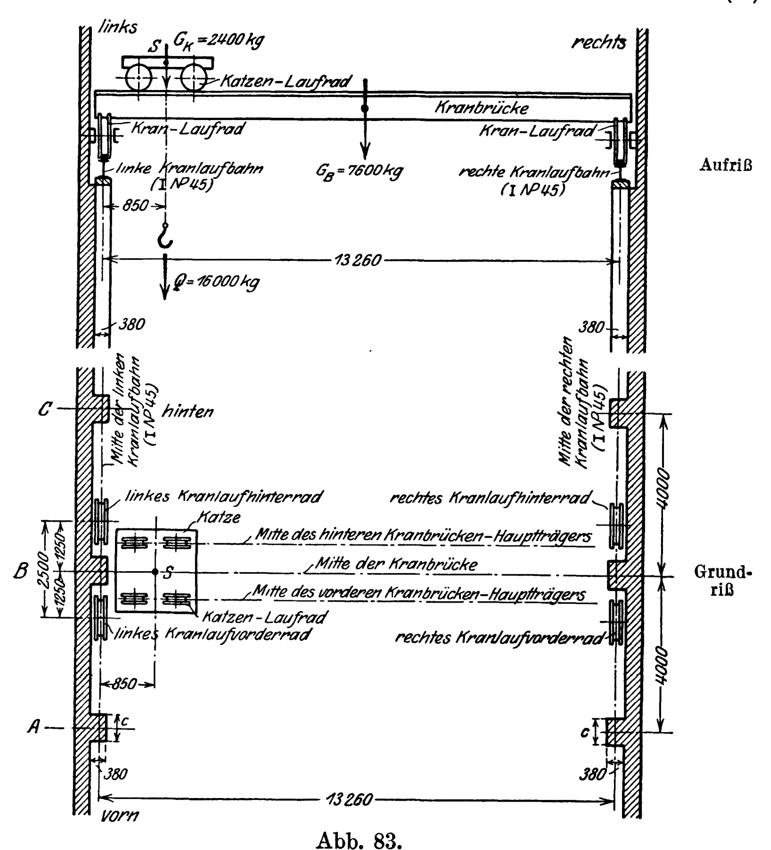


Abb. 83.

zusammenfällt. Die Katze ist möglichst weit nach links gefahren. Am Haken hängt die höchstzulässige Nutzlast von 16 t. Bei dieser charakteristischen Stellung soll zunächst die Belastung des linken Pfeilers B bestimmt werden. Nachher sollen dann auch andere Stellungen des Kranes in Betracht gezogen werden.

Als erster Schritt möge der Raddruck bestimmt werden, mit dem eins der beiden linken Kranräder bei dieser Stellung und Belastung auf die Laufbahn drückt. Dieser Raddruck setzt sich aus den folgenden Einzellasten zusammen:

1. Das Gewicht der „Kranbrücke" (oder „Kranbühne"), d. i. des eigentlichen Laufkranes, jedoch ohne Katze, Nutzlast und Kranfahrbahn, beträgt $G_B = 7600$ kg. Es verteilt sich (aus Symmetriegründen) gleichmäßig auf die 4 Kranräder, so daß davon auf den Raddruck eines jeden Kranrades ein Betrag von $\frac{7600}{4} = \mathbf{1900}$ **kg** entfällt.

2. Die Laufkatze mit Windwerk, Motoren, Kette und Haken, jedoch ohne die Nutzlast, hat ein Gewicht $G_K = 2400$ kg, das in ihrem Schwerpunkt S konzentriert gedacht werden kann; letzterer wird etwa senkrecht über dem Lasthaken liegen. Von diesen 2400 kg wird ein Teil von den beiden linken Kranlaufrädern (nicht Katzenrädern!) getragen, der Rest von den beiden rechten. Die beiden Anteile sind verschieden groß, und zwar beträgt, da die Schwerpunktsabstände 850 mm bzw. 13260 − 850 = 12410 mm sind, der auf die beiden linken Räder zusammen entfallende (größere) Anteil $\frac{2400 \cdot 12410}{13260} = 2250$ kg, der auf jedes linke Rad entfallende Teil also $\frac{2250}{2} = \mathbf{1125}$ **kg.**

3. Die Nutzlast von 16000 kg verteilt sich auf die 4 Kranlaufräder (nicht Katzenräder!) ebenso wie das Gewicht der Katze. Auf jedes der beiden linken Kranräder entfällt daher davon ein Anteil von $\frac{16000 \cdot 12410}{13260 \cdot 2} = \mathbf{7490}$ **kg.**

Insgesamt drückt demgemäß jedes der beiden linken Kranlaufräder auf die Kranbahn mit 1900 + 1125 + 7490 = **10515 kg.**

Die Lage dieser beiden Rad-Druckkräfte zu den Pfeilern der linken Wand wird durch die Abb. 84 nochmals in Seitenansicht dargestellt; sie zeigt die drei Mauerpfeiler A, B, C mit einem Teil der Kranlaufbahn, sowie die darauf laufende Kranbrücke, unter Fortlassung der Katze. Von den drei dargestellten Pfeilern

wird (bei dieser Stellung und Belastung des Kranes) durch den Kran belastet:

der hintere Pfeiler C mit $\dfrac{10\,515 \cdot 1250}{4000} = 3290$ kg;

der vordere Pfeiler A ebenso mit 3290 kg;

der mittlere Pfeiler B mit $2 \cdot (10\,515 - 3290) = 14\,450$ kg.

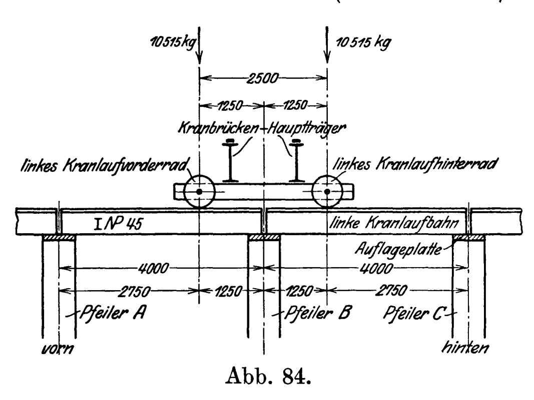


Abb. 84.

Die höchste Pfeilerbelastung bei dieser Kranstellung (Mittelebene des Kranes zugleich Mittelebene eines Pfeilers) beträgt demnach **14450 kg.**

Daß die gewählte Katzenstellung (nämlich möglichst nahe an die Kranlaufbahn herangerückt) bei gegebener Kranstellung ein Maximum der Pfeilerbelastung ergibt, liegt auf der Hand. Dagegen ist es nicht ebenso leicht zu erkennen, ob nicht eine andere Kranstellung als die eben be-

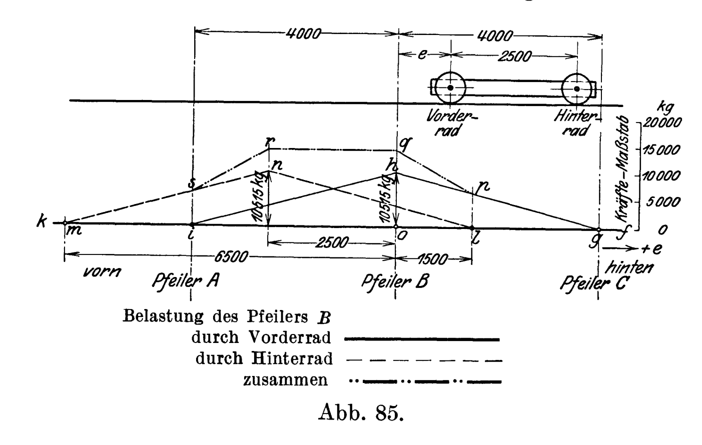


Abb. 85.

trachtete größere Pfeilerbelastungen verursacht. Um dies zu untersuchen, ist im oberen Teil der Abbildung 85 eine beliebige Kranstellung dargestellt, wobei „e“ denjenigen Horizontal-Abstand in mm bedeutet, um den die Achse des vorderen Kranlaufrades

hinter der Mitte des Pfeilers B liegt. Zu untersuchen ist, wie die Belastung des Pfeilers B durch die beiden Kranräder wechselt, wenn der Wert e sich ändert.

Das vordere Kranrad belastet den Pfeiler B gar nicht, wenn es rechts von Pfeiler C oder auch genau auf Mitte des Pfeilers C steht, also für $e \geqq 4000$. Steht es dagegen genau auf Pfeiler B, ist also $e = 0$, so belastet es B mit 10515 kg. Dazwischen verläuft die Belastung von B durch das Vorderrad als lineare Funktion von e und kann daher durch die Ordinaten der Linie gh im unteren Teil der Abb. 85 dargestellt werden, wenn e als Abszisse und O als Koordinaten-Nullpunkt gewählt wird. Wird e negativ, das heißt: liegt das Vorderrad vor dem Pfeiler B, so ergibt die Belastungskurve die Linie ih. Wird e größer als 4000 oder kleiner als -4000, so ist dieser Belastungsanteil gleich Null (gf und ik).

Das Hinterrad belastet den Pfeiler B garnicht, wenn es auf einem der Pfeiler A oder C oder hinter C oder vor A steht, wenn also $e + 2500 \geqq 4000$, das heißt $e \geqq 1500$, oder wenn $e + 2500 \leqq -4000$, das heißt $e \leqq -6500$ ist (fl und mk). Es belastet den Pfeiler B mit den vollen 10515 kg, wenn es genau auf B steht, wenn also $e = -2500$ ist (Punkt n). Zwischen diesen Werten verläuft auch die Kurve für die Belastung von B durch das Hinterrad als lineare Funktion von e und kann daher durch den Linienzug $flnmk$ dargestellt werden.

Die Gesamtbelastung des Pfeilers B durch den Kran ergibt sich als die Summe beider Kurven, wird also durch die Ordinaten der Linie $fgpqrsmk$ dargestellt. Es ist leicht einzusehen, daß sie ihren Höchstwert hat (auf dem sie freilich bei der Bewegung des Kranes längere Zeit verbleibt), wenn ein Rad genau auf dem Pfeiler B steht ($e = 0$). Dies Rad belastet den Pfeiler B dann mit 10515 kg, das andere mit

$$\frac{10515 \cdot (4000 - 2500)}{4000} = \frac{10515 \cdot 1500}{4000} = 3945 \text{ kg.}$$

Die Höchstbelastung eines Pfeilers B durch den Kran ergibt sich demnach zu $10515 + 3945 =$ **14460 kg**, ist also unter den hier gegebenen Verhältnissen (keineswegs immer!) ebenso groß wie bei der zuerst betrachteten Kranstellung, was übrigens auch unmittelbar aus der Abb. 84 hätte geschlossen werden können.

Zur Belastung durch den Kran kommt noch die durch die Kranlaufbahn. Die Laufbahn besteht aus einem I-Eisen NP 45, von dem gemäß den Trägertabellen (Bernoulli S. 72. — Hütte 1923, I., S. 771. — Dubbel I., S. 586. — Freytag S. 1157) je

1 m etwa 115,4 kg wiegt. Dazu kommt noch die aufgenietete Schiene, für die man (gemäß Hütte 1923, II., S. 529. — Dubbel II., S. 477, 478. — Freytag S. 1165) etwa das Sonderprofil Nr. 2 mit 32,2 kg pro Meter annehmen kann. Auf jeden Pfeiler entfallen von Träger und Schiene 4 m (nämlich auf jeder Seite eine halbe Spannweite, also zusammen $2 \cdot {}^1/_2 \cdot 4$ m), entsprechend $4 \cdot (115{,}4 + 32{,}2) \approx 590$ kg, so daß sich die Gesamthöchstbelastung eines Pfeilers zu $590 + 14460 = \mathbf{15050}$ **kg** ergibt.

Bedeutet gemäß der Abb. 83 „c" die Breite des Pfeilers, parallel zur Wandfläche gemessen, in cm (!), so ist seine tragende Querschnittfläche $38\,c$ cm². Da die Druckbeanspruchung höchstens 6 kg/cm² sein soll, so ergibt sich die Beziehung: $6 \cdot 38 \cdot c \geqq 15050$, und daraus die Pfeilerbreite $c \geqq \frac{15050}{6 \cdot 38} \geqq$ **66 cm.**

110. Zu 1. Der Faktoren-Rollenzug wird gemäß den Angaben über die Rollenzahl in der festen und losen Flasche schematisch dargestellt durch die Abbildung 86. Die Last von Q kg hängt an 5 Seilsträngen a, b, c, d, e und würde sich, wenn das Seil und die Rollen keine Reibungswiderstände aufwiesen, auf diese 5 Stränge gleichmäßig verteilen, so daß jeder Strang $^1/_5$ der Last Q zu tragen hätte. Die Zugkraft von P kg in dem zur Bockwinde führenden Seilstrang f würde in diesem Falle (das heißt: ohne Reibung!) zur Erzielung des Gleichgewichtes (das heißt: behufs ruhigen Haltens der Last oder behufs ihrer gleichförmigen, nicht beschleunigten Auf- oder Abwärtsbewegung) gleich der Kraft in Strang e,

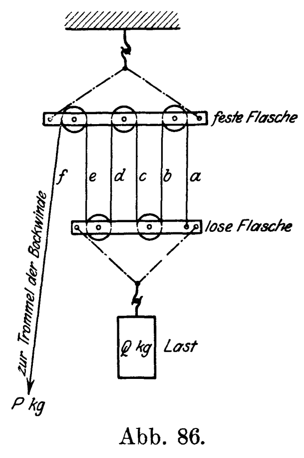


Abb. 86.

also ebenfalls gleich $\frac{1}{5}\,Q$ kg sein müssen. Die Seilbeanspruchung wäre dann in allen 6 Strängen a, b, c, d, e, f gleich groß.

Infolge der Reibung nimmt jedoch die Seilbeanspruchung (beim Hochwinden der Last Q) vom Strang a bis zum Strang f mit jedem folgenden Strang zu, und ist in f am größten, so daß für die Seilberechnung der Strang f maßgebend ist.

Die zulässige Zugkraft P (in kg) in diesem Strang f ergibt sich aus dem Seildurchmesser von 26 mm nach den einzelnen Literaturstellen etwa wie folgt:

Bernoulli S. 180 gibt eine Tabelle von Felten und Guilleaume für runde Hanfseile aus bestem badischen Schleißhanf, wonach ein Seil von 26 mm ∅ bei 8facher Sicherheit einen Zug von 600 kg verträgt. Es würde also reißen bei $600 \cdot 8 = 4800$ kg und darf, wenn 10fache Sicherheit gegen Reißen gefordert wird, nur mit $\frac{4800}{10} = 480$ kg beansprucht werden.

Die Tabelle Bernoulli S. 176, die für die Zugfestigkeit K_z für Hanfseil den Wert von 600 bis 900 kg/cm² angibt, würde bei dem Seildurchmesser von 2,6 cm eine Reißbelastung von $600 \cdot 2{,}6^2 \cdot \pi/4$ bis $900 \cdot 2{,}6^2 \cdot \pi/4$ oder von etwa 3180 bis 4775 kg ergeben, so daß der letztere Wert mit dem vorhin gefundenen von 4800 kg fast genau übereinstimmt.

Die Hütte 1923, I., S. 603 gibt für neue Schleißhanfseile an: $K_z = \frac{2}{3} \cdot 1200$ bis $\frac{2}{3} \cdot 1350$, also 800 bis 900 kg/cm², für alte Seile $\frac{2}{3} \cdot 500 = 333$ kg/cm², wenn (ebenso wie bei Bernoulli) als Querschnitt $d^2 \cdot \pi/4$ eingesetzt wird, wobei d den Seildurchmesser (in cm) bedeutet, wenn also dabei der volle Inhalt des dem Seilquerschnitt umschriebenen Kreises einschließlich der Zwischenräume zwischen den einzelnen Litzen als tragend angenommen wird. Die Ziffern für neue Seile (800 bis 900 kg/cm²) stimmen also mit denen bei Bernoulli (600 bis 900) gut überein.

Freytag S. 89 gibt dieselben Ziffern wie die Hütte.

Im folgenden soll mit 480 kg als der zulässigen Zugkraft im Strang f gerechnet werden.

Ohne Reibung des Seiles und der Rollen, also bei einem Wirkungsgrade des Rollenzuges von 100%, wäre, wie vorhin gezeigt, $P = Q/5$.

Infolge der Reibung, die den Wirkungsgrad η des Rollenzuges erheblich ermäßigt, ist $P = \frac{Q}{5 \cdot \eta}$ oder $\boldsymbol{Q = 5 \cdot \eta \cdot P}$ **kg.**

Für η gibt Bernoulli S. 249 eine Tabelle in Abhängigkeit von der gesamten Rollenzahl n des Flaschenzuges und von der Seilstärke δ (in cm), die die folgenden Ziffern für η enthält:

	$n = 4$	$n = 6$
$\delta = 1{,}6$ cm	0,88	0,84
$\delta = 3{,}6$ cm	0,80	0,74

Will man aus diesen Werten den hier bei $\delta = 2{,}6$ cm und $n = 5$ für η in Betracht kommenden Wert nicht einfach schätzen

(was bei der Unsicherheit dieser Ziffern völlig genügen würde), sondern genauer interpolieren, so folgt:

$$\text{für } \delta = 2{,}6\,\text{cm} \begin{cases} \text{bei } n = 4 \text{ der Wert } \eta = 0{,}84, \\ \text{bei } n = 6 \text{ der Wert } \eta = 0{,}79, \\ \text{also bei } n = 5 \text{ der Wert } \eta = 0{,}815 \text{ oder rund } 0{,}82. \end{cases}$$

Etwa denselben Wert für η erhält man aus der Formel Bernoulli S. 248 $\eta = \frac{x^n - 1}{n \cdot x^n \cdot (x-1)}$, wenn man für n entsprechend der Rollenzahl die Ziffer 5 einsetzt und für x, entsprechend der Tabelle auf S. 115 oben, die Ziffer 1,08. So ergibt sich nämlich:

$$\eta = \frac{1{,}08^5 - 1}{5 \cdot 1{,}08^5 \cdot (1{,}08 - 1)} = \frac{1{,}469 - 1}{5 \cdot 1{,}469 \cdot 0{,}08} = \frac{0{,}469}{0{,}40 \cdot 1{,}469} \approx 0{,}80.$$

Dubbel I., S. 328 gibt ebenfalls die zuletzt genannte Gleichung für η, wobei er ε statt x schreibt.

Freytag gibt S. 844 dieselbe Formel für η und eine weniger ausführliche Tabelle mit Werten für x und η.

Die Hütte 1923, I., S. 305 gibt, abhängig von der Hanfseilstärke, einige Werte für den Wirkungsgrad der einzelnen festen Rolle, also für den Reziprokwert von x.

Mit $\eta = 0{,}82$ und $P_{\max} = 480$ kg folgt für den hier vorliegenden Fall $Q_{\max} = 5 \cdot P_{\max} \cdot \eta = 5 \cdot 480 \cdot 0{,}82 =$ **1970 kg.** Dies ist somit die größte mit der Einrichtung unter den vorgeschriebenen Bedingungen zu bewältigende Last.

Zu 2. und 3. An der Bockwinde, die durch die Abbildung 87 schematisch dargestellt wird (Abbildungen siehe Bernoulli S. 253, 255. — Dubbel II., S. 378. — Freytag S. 852), verhalten sich die

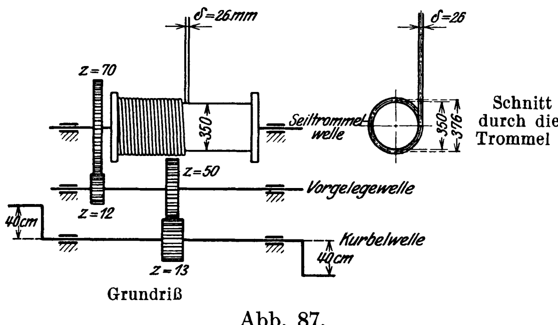


Abb. 87.

Zahlen der von den 3 Wellen (Kurbelwelle, Vorgelegewelle, Seiltrommelwelle) in derselben Zeit vollendeten Umdrehungen umgekehrt wie die Zähnezahlen z der beiden auf den betreffenden

Wellen befestigten und in einander kämmenden Zahnräder. Wenn daher die Kurbeln genau eine volle Umdrehung machen, so macht gleichzeitig:

$$\text{die Vorgelegewelle } \frac{13}{50} \text{ Umdrehungen,}$$

$$\text{die Trommelwelle } \frac{13}{50} \cdot \frac{12}{70} = \frac{156}{3500} = 0{,}0446 \text{ Umdrehungen.}$$

Die Hand jedes Arbeiters legt dabei entsprechend dem Kurbelradius von 40 cm einen Weg von $2 \cdot 0{,}4 \cdot \pi = 2{,}513$ m zurück. Jeder Punkt des Seilstranges f bewegt sich dabei, da das Seil sich auf der Trommel in Kreisen vom Durchmesser $350 + 26 = 376$ mm aufwickelt, um einen Weg von $0{,}376 \cdot \pi \cdot 0{,}0446 = 0{,}0527$ m.

Über die ungefähren Werte der Kraft und der Geschwindigkeit, mit der Arbeiter an einer Handkurbel arbeiten, geben die Handbücher die folgenden Anhalte:

Bernoulli S. 105: Kraft 10 kg; Geschwindigkeit 0,75 m/sek; Leistung 7,5 mkg/sek.

Hütte 1923, II., S. 2: Kraft 10 kg; Geschwindigkeit 0,8 m/sek; Leistung 8 mkg/sek.

Dubbel II., S. 424: Kraft 10 bis 15 kg; Kurbelarm 0,3 bis 0,4 m; Geschwindigkeit 0,5 bis 1 m/sek.

Freytag S. 313: Kraft 15 kg; Geschwindigkeit 0,5 bis 1 m/sek.

Rechnet man mit 10 kg und 0,75 m/sek, so folgt aus dem letzteren zusammen mit dem Kurbelradius von 0,4 m, daß die Kurbeln in der Sekunde $\frac{0{,}75}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}4} = 0{,}298$ Umdrehungen machen, in der Minute also $60 \cdot 0{,}298 = 17{,}9$ Umdrehungen. Vom Seil wickeln sich daher gemäß den obigen Ableitungen dann in der Minute $17{,}9 \cdot 0{,}0527 = 0{,}945$ m auf die Seiltrommel auf. Um den fünften Teil dieser Strecke muß sich die Last Q, da sie an 5 Seilsträngen hängt, heben. Die Last wird also pro Minute um $\frac{0{,}945}{5} = 0{,}189$ m oder **189 mm** gehoben.

Am Seilstrang f wird bei der Höchstlast, also bei einem Zug in diesem Seilstrang von 480 kg, während einer Kurbelumdrehung (wobei das Seil um 0,0527 m angezogen wird), eine Arbeit von $0{,}0527 \cdot 480 = 25{,}30$ mkg geleistet. Hätte die Bockwinde einen Wirkungsgrad von $100\,^0/_0$, so würde die gleiche Arbeit an den Kurbeln geleistet werden müssen. Da die Kurbeln dabei einen Weg von $2 \cdot 0{,}4 \cdot \pi = 2{,}513$ m zurücklegen, müßte dann an allen Kurbeln zusammen eine (stets tangential zum Kurbelkreis ge-

richtete) mittlere Gesamtkraft der arbeitenden Hände von $\frac{25{,}30 \text{ mkg}}{2{,}531 \text{ m}} = 10{,}0$ kg angreifen. Da aber der Wirkungsgrad der Bockwinde nur 0,75 ist, beträgt die wirklich von den Händen auszuübende mittlere Tangentialkraft $\frac{10{,}0}{0{,}75} = 13{,}33$ kg. Da ein Arbeiter eine mittlere Tangentialkraft von etwa 10 kg ausüben kann, sind zwei Arbeiter erforderlich, die mit einer mittleren Tangentialkraft von je etwa 6,7 kg an den Kurbeln wirken.

111. Zu 1. Die Drehachse des Rotors (d. h. die Verbindungslinie der Mittelachsen der Lagerbohrungen) liegt, wie in der Aufgabe angegeben ist, parallel zu einer „freien Achse" und ist daher eine „Trägheits-Hauptachse" (Hütte 1923, I., S. 205). Der infolge der Fliehkraft entstehende Druck auf die Welle und auf die Lager beträgt daher $m \cdot r \cdot \omega^2$ kg, wenn m die Masse des Rotors in technischen Masseneinheiten bedeutet, r den Abstand der Drehachse vom Schwerpunkt in Metern, ω die Winkelgeschwindigkeit in Einheitswinkeln pro Sekunde (Hütte 1923, I., S. 312). Da die freie Achse durch den Schwerpunkt geht und der Drehachse parallel ist, so ist hier r gleich dem Abstand der beiden Achsen voneinander, der zu 0,7 mm angegeben war:

Es ist also hier:

$$m = \frac{1500}{9{,}81} \text{ technische Masseneinheiten,}$$

$$r = \frac{0{,}7}{1000} \text{ Meter,}$$

$$\omega = \frac{3000 \cdot 2 \cdot \pi}{60} \text{ Einheitswinkel in der Sekunde.}$$

Die Zentrifugalkraft beträgt also im vorliegenden Falle:

$$\frac{1500 \cdot 0{,}7 \cdot 3000 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 3000 \cdot 2 \cdot \pi}{9{,}81 \cdot 1000 \cdot 60 \cdot 60} = 10550 \text{ kg.}$$

Diese Kraft wirkt abwechselnd nach oben und nach unten.

Bei genauer Montierung wäre die Belastung von Welle und Lagern nur 1500 kg. Jetzt schwankt sie zwischen $10550 + 1500 =$ **12050 kg,** abwärts gerichtet, und $10550 - 1500 =$ **9050 kg,** aufwärts gerichtet.

Zu 2. Der Höchstwert der senkrecht nach unten gerichteten Kräfte hat sich gemäß dem Vorstehenden um $\frac{10550}{1500} \cdot 100\,\%$

= ca. 700 % gegenüber der Belastung bei genauer Ausführung vergrößert. Von fast dem gleichen Betrage wie die Maximalkraft senkrecht abwärts treten jetzt Kräfte senkrecht aufwärts sowie horizontal und in allen Zwischenrichtungen auf, die bei genauer Montierung ganz fehlten.

Schlußbemerkung: Ein so grober Fehler, wie hier angenommen wurde (um 0,7 mm!), wird in der Praxis in solchen Fällen wohl nicht vorkommen. Die Rechnung zeigt aber, wie groß die dadurch entstehenden zusätzlichen Kräfte sind, und daß die Belastung von Welle und Lagern beispielsweise bereits durch einen Fehler von 0,1 mm verdoppelt wird. Solche Abweichungen können übrigens nicht nur durch fehlerhafte Werkstattarbeit entstehen, sondern auch durch nachträgliche Verlagerung der Massen des fertigen Rotors im Betriebe, da er ja zum Teil aus nicht sehr starren Materialien (Glimmer, Preßspan, Baumwolle u. dgl.) besteht, die sich infolge der Einflüsse der Fliehkräfte, der Temperaturschwankungen, von Kurzschlußkräften und dergleichen verziehen können.

112. A. Bei Beibehaltung der bisherigen Betriebsweise ergeben sich die jährlichen Ausgaben des Schlachthofes, soweit sie hier in Betracht kommen, wie folgt:

Der Schlachthof braucht jährlich an mechanischer Arbeit 700000 PS_e-Std. Wenn er diese mit seinen Dampfmaschinen erzeugt, so müssen diese dafür leisten: $\frac{700000}{0,8}$ PS_i-Std und verbrauchen dazu an Dampf: $\frac{700000 \cdot 10}{0,8} = 8750000$ kg.

1 kg Dampf von 8 at Überdruck und 200° C enthält 680 WE[1]), während das entsprechende kg Speisewasser dem Kessel mit 90° C, also mit 90 WE zugeführt ist. Zur Erzeugung von je 1 kg Dampf sind daher $\frac{680 - 90}{0,7 \cdot 7200}$ kg $= 0,117$ kg Kohlen erforderlich, im ganzen Jahre also $0,117 \cdot 8750000 = 1020000$ kg Kohlen oder 1020 t Kohlen, die eine Ausgabe von $1020 \cdot 43 = 43900$ Goldmark verursachen.

Für diese Ausgabe erhält aber der Schlachthof nicht nur seinen Jahresbedarf an mechanischer Arbeit, sondern außerdem auch noch mehr oder weniger heißes Wasser. Wenn die in der Aufgabe erwähnte Abdampf-Ausnützungsziffer (infolge hohen Warmwasserbedarfes und günstigen zeitlichen Zusammentreffens desselben mit dem Kraftbedarf) beispielsweise 100 % beträgt, wenn also der gesamte Maschinen-Abdampf zur Warmwasser-

---

[1]) $664,9 + (200 - 174,4) . 0,575 \approx 665 + 25,6 . 0,575 \approx 665 + 15 \approx 680$ WE (Hütte 1923, I., S. 499, 505; ähnlich Dubbel I., S. 397, 402 und Freytag S. 479, 483).

bereitung Verwendung finden kann, so gibt jedes kg des Maschinen-Abdampfes, das bei dem Druck von 1,2 at absolut 641 WE enthält, außer der Anwärmung seines Anteils am Kesselspeisewasser, d. h. also außer der Anwärmung von 1 kg Kesselspeisewasser von $+ 10^0$ C auf 90^0 C, wozu $1 \cdot (90 - 10) = 80$ WE erforderlich sind, noch $641 - 80 = 561$ WE für die Bereitung von heißem Gebrauchswasser ab.

Im ganzen Jahre würde daher der Maschinenabdampf zur Erwärmung des heißen Gebrauchswassers $561 \cdot 8750000$ WE beitragen. Bei einer geringeren Abdampf-Ausnutzungsziffer, etwa bei $c\,^0/_0$, würde diese Wärmemenge nur $\frac{c \cdot 561 \cdot 8750000}{100}$ WE betragen.

B. Bei Anschluß des Schlachthofes an das Eltwerk und Stillegung der Dampfmaschinen des Schlachthofes entstehen an Stelle der unter A berechneten Jahreskosten von 43900 Goldmark die folgenden:

1. Der Schlachthof muß jetzt auch denjenigen Teil seines Heißwasserbedarfes, den er gemäß A durch den Maschinenabdampf erwärmte, durch Frischdampf erzeugen, er muß also Kohlen besonders dafür aufwenden. Bei einem Wirkungsgrad der Kessel von 0,7 und einem Heizwert der Kohle von 7200 WE/kg braucht er als Ersatz für diese $561 \cdot 87500 \cdot c$ Wärme-Einheiten im Jahre eine Kohlenmenge von $\frac{561 \cdot 875000 \cdot c}{0{,}7 \cdot 7200}$ kg oder etwa 9,7 c Tonnen Kohle, die etwa $9{,}7 \cdot 43 \cdot c =$ **(417 c) Goldmark** kosten.

2. Das Eltwerk muß für die vom Schlachthof verbrauchten 700000 PS_e-Std an elektrischer Arbeit $\frac{700000 \cdot 0{,}736}{0{,}9 \cdot 0{,}93} = 615000$ kWStd erzeugen und braucht dafür $\frac{615000 \cdot 1{,}1}{1000} = 677$ t Kohle, die $43 \cdot 677 =$ **29100 Goldmark** kosten.

3. Der Kapitaldienst für die durch die Elektrifizierung des Schlachthofes bedingten neuen Anlagekosten erfordert jährlich $\frac{9}{100} \cdot 70000 =$ **6300 Goldmark.**

Die Addierung der Beträge unter 1., 2., 3. ergibt die Summe von $(417\,c + 29100 + 6300) =$ **(417 c + 35400) Goldmark,** gegenüber **43900 Goldmark** unter A.

Der Anschluß der Kraftbetriebe (Transmissionen, Kühlmaschinen usw.) des Schlachthofes an das Eltwerk unter Stillegung

der Dampfmaschinen des Schlachthofes ist daher bei den hier angegebenen Verhältnissen vorteilhaft, wenn

$$417\,c + 35400 < 43900,$$

oder

$$417\,c < 8500,$$

oder

$$c < \frac{8500}{417} \text{ das heißt } < 20{,}4\,\%$$

ist, wenn also vom Maschinenabdampf weniger als 20,4% für die Warmwasserbereitung ausgenutzt werden können und der Rest als Auspuffdampf ungenutzt entweicht. Bei größeren Werten von c ist die Beibehaltung der bisherigen Betriebsweise zweckmäßiger; der Anschluß an das Elektrizitätswerk würde dann Nachteile bringen.

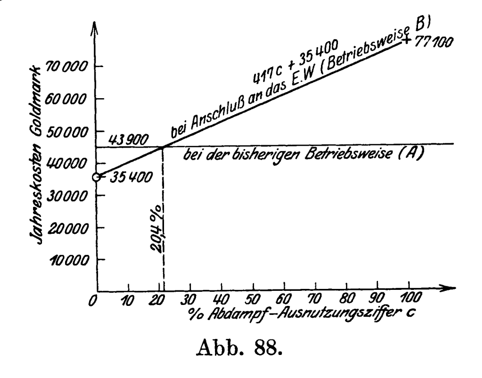


Abb. 88.

Für jeden Wert von c ist die Größe des Vorteils oder Nachteils durch den Anschluß an das Elektrizitätswerk, in Goldmark pro Jahr, aus der in Abbildung 88 dargestellten Kurve abzulesen, die an Hand der vorstehend berechneten Ziffern gezeichnet ist.